



中华人民共和国国家标准

GB/T 44325—2024

工业循环冷却水零排污技术规范

Technical specification for zero discharge of industrial circulating cooling water

2024-08-23 发布

2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国化学标准化技术委员会（SAC/TC 63）归口。

本文件起草单位：中海油天津化工研究设计院有限公司、安徽精高水处理有限公司、河北协同水处理技术有限公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司、天津鲲鹏化工科技有限公司、中化工程沧州冷却技术有限公司、陕西化工研究院有限公司、广东邦普循环科技有限公司、天津正达科技有限责任公司、南京高科环境科技有限公司、石家庄给源环保科技有限公司、常州中南化工有限公司、河北利源环保科技有限公司、山东泰和科技股份有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、浙江中昌水处理科技有限公司、上海轻工业研究所有限公司、嘉兴沃特泰科环保科技股份有限公司、四川润兴环保科技有限公司、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司、中海油惠州石化有限公司、天津新鲲鹏化工有限公司、山东鲁东环保科技有限公司、宁夏宏远祥科技有限公司、国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司、邯钢能嘉钢铁有限公司。

本文件主要起草人：陈爱民、徐群、王崇璞、乃国星、周光彬、庞翠翠、王丽莉、余海军、聂明、陈梦雪、白莹、李永广、张洪明、赵新利、姚娅、浦江、贾彦文、马彦蓉、周卫华、马腾霄、刘军、龚朝兵、杨野、潘兴灿、薛丽娟、姚莫白、韩向红、闫红梅、明云峰、剧盼盼、戴海桃。

工业循环冷却水零排污技术规范

1 范围

本文件规定了工业循环冷却水零排污技术的通用要求、工艺流程、工艺流程单元控制要求、水质及系统控制要求、安全及环保要求。

本文件适用于间冷开式循环冷却水系统的零排污处理。

本文件不适用于以海水作为补充水的循环冷却水系统。

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。

GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则

GB/T 14427 锅炉用水和冷却水分析方法 铁的测定

GB/T 15451 工业循环冷却水 总碱及酚酞碱度的测定

GB/T 15452 工业循环冷却水中钙、镁离子的测定 EDTA 滴定法

GB/T 15453 工业循环冷却水和锅炉用水中氯离子的测定

GB/T 15456 工业循环冷却水中化学需氧量（COD）的测定 高锰酸盐指数法

GB/T 15893.1 工业循环冷却水中浊度的测定 散射光法

GB 18597 危险废物贮存污染控制标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

GB/T 21534 节约用水 术语

GB/T 22592 水处理剂 pH 值测定方法通则

GB/T 23838 工业循环冷却水中悬浮固体的测定

GB/T 39296 循环冷却水处理运行效果评价 监测换热器法

GB/T 50050 工业循环冷却水处理设计规范

HJ 298 危险废物鉴别技术规范

HJ 637 水质 石油类和动植物油类的测定 红外分光光度法

危险化学品安全管理条例（2002 年 1 月 26 日中华人民共和国国务院令第 344 号公布，2011 年 2 月 16 日国务院第 144 次常务会议修订通过，根据 2013 年 12 月 7 日国务院令第 645 号修订）

国家危险废物名录（2021 年版）（2020 年 11 月 25 日生态环境部、国家发展和改革委员会、公安部、交通运输部、国家卫生健康委员会令第 15 号公布）

3 术语和定义

GB/T 21534、GB/T 50050 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

循环冷却水零排污 zero discharge of industrial circulating cooling water

工业循环冷却水系统中全部外排水经处理后回用至循环冷却水系统的过程。

4 通用要求

- 4.1 应根据系统的冷却方式、水平衡、盐平衡、补充水水质、水冷器材质及运行条件等因素，全面考虑系统腐蚀、结垢、微生物的滋生程度，采用模块化的循环冷却水零排污处理技术和适宜的水处理剂，以实现零排污系统和循环冷却水系统的稳定运行。
- 4.2 应采用高效、低毒、化学稳定性良好的水处理剂，优先使用环境友好型水处理剂。
- 4.3 应结合工业循环冷却水系统的运行特点，做好药剂投加、补充水处理和系统外排水（旁流水、排污水）处理工作，确保补充水水质和循环冷却水水质符合本文件的水质要求，黏附速率、腐蚀速率、异养菌总数、生物黏泥量符合本文件的系统控制要求。

5 工艺流程

5.1 概述

通过多种处理工艺和水处理剂的高效耦合，对循环冷却水系统的旁流反洗水、排污水进行降浊、除硬、除盐等处理后全部回用循环冷却水系统，保持系统中的水平衡和盐平衡，实现循环冷却水系统的零排污运行。

5.2 典型处理工艺

循环冷却水零排污典型处理工艺流程见图 1。

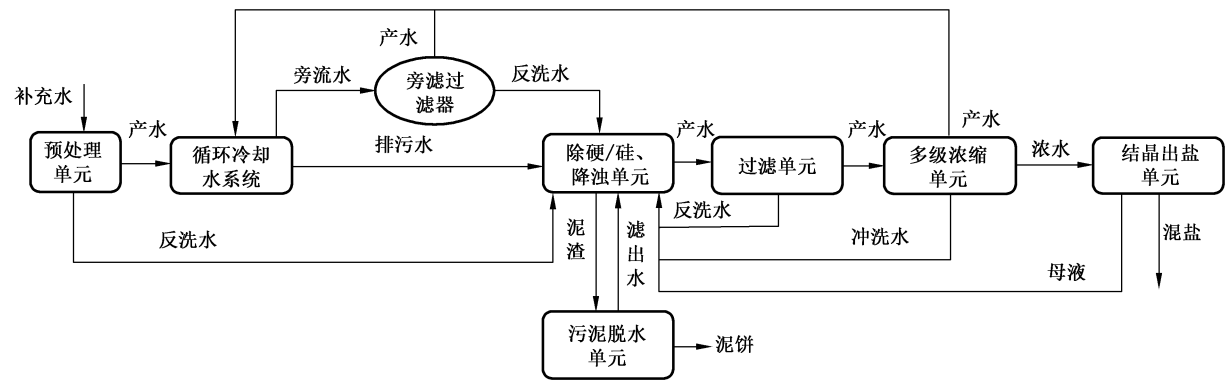


图 1 循环冷却水零排污典型处理工艺流程

6 工艺流程单元控制要求

6.1 预处理单元

- 6.1.1 补充水如不能满足 7.1 要求，则应经预处理单元进行处理。
- 6.1.2 单元设计规模应为循环冷却水系统蒸发量的 1.3 倍~1.5 倍。
- 6.1.3 单元工艺选择应根据补充水水量、水质、设备运行周期、场地、安全、经济性、操作等多方面因素综合考虑。
- 6.1.4 应采用 V 型滤池、机械过滤器等进行介质过滤，相关要求为：
- 选用 V 型滤池时，滤速应为 7 m/h~20 m/h；选用机械过滤器时，滤速应为 8 m/h~10 m/h；
 - 应采用石英砂滤料，滤料粒径应为 0.5 mm~1.5 mm；

- 采用V型滤池时，滤料填充高度应为0.9 m~1.5 m；采用机械过滤器时，滤料填充高度应为1.2 m，同时兼顾反洗膨胀高度；
- 应设置产水池/罐及传输泵。

6.1.5 当介质过滤无法满足处理要求时，应增设超滤处理工艺，相关要求为：

- 水温适应范围应在5℃~40℃；
- 宜选用偏聚氟乙烯（PVDF）材质的中空纤维膜；
- 膜元件过滤通量应不大于50 L/（m²·h）；
- 膜组件的选择及运行方式应根据进水水质确定，过滤方式宜采用错流过滤；
- 最大进水压力应不大于0.30 MPa，允许跨膜压差应不大于0.20 MPa，允许操作压力应不小于0.20 MPa；
- 膜组件产水浊度应不大于0.2 NTU，产水污染指数（SDI）应不大于3；
- 应使用超滤产水进行反洗，反洗周期宜不大于30 min，反冲洗进水压力应为0.20 MPa~0.30 MPa；当系统产水量小于设计量的80%且通过水反洗不能有效恢复时，应进行系统化学清洗；
- 应设置产水池/罐及传输泵。

6.2 循环水冷却水系统

6.2.1 应通过投加适用于循环冷却水系统零排污运行的缓蚀剂、阻垢剂、杀菌剂、pH调节剂等水处理剂，使循环冷却水系统满足7.2和7.3要求。

6.2.2 各类水处理剂均应配置相应的药剂投加系统，包括药剂箱、加药泵、管路、仪表和阀门等组件，根据企业实际情况选择自动或手动控制。

6.2.3 旁滤过滤器宜采用砂、多介质等介质过滤器，出水浊度应小于3.0 NTU。

6.2.4 旁滤过滤器处理循环冷却水系统旁流水的过程中产生的反洗水应进入除硬/硅、降浊单元进行处理。

6.2.5 必要时，应对循环冷却水系统进行在线或人工排污操作，产生的排污水应进入除硬/硅、降浊单元进行处理。

6.2.6 宜配置循环水旁路监测换热器，按照GB/T 39296监测循环冷却水系统的腐蚀、结垢和生物黏泥污堵等情况。

6.3 除硬/硅、降浊单元

6.3.1 单元处理规模应根据循环冷却水系统盐平衡计算进行设计。

6.3.2 应按照相似水质运行经验，结合场地、经济性等多方面因素选择化学法、电化学法或二者的组合工艺进行除硬和除硅。

6.3.3 采用化学法时，推荐操作包括：

- 应通过投加石灰、纯碱、氢氧化钠等进行除硬处理，投加量应根据进、出水硬度指标计算，并根据去除效果及时调节；
- 应通过投加氧化镁、氢氧化钠、偏铝酸盐等进行除硅处理，投加量应根据进、出水硅含量计算，并根据去除效果及时调节；
- 应通过投加混凝剂和絮凝剂去除细小悬浮物和生物絮体等，投加量应通过试验确定。

6.3.4 采用电化学法时，一般进水水质要求为：

- 水温为5℃~45℃；
- 浊度不大于30 NTU；
- 含油量不大于30 mg/L；

——电导率不小于2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

6.3.5 电化学装置的相关控制要求为：

- 电流应根据处理水量确定，作用于通过装置的单位水量的电量应大于 $1\text{ C}/\text{m}^3$ ，最大工作电压应小于36 V；
- 阳极应选用惰性电极；
- 应配有除垢设施或清洗措施。

6.3.6 应采用具有加药、混凝、絮凝、沉淀功能的高密度沉淀池，并根据场地、经济性、操作、安全等多方面因素确定集成度及水力停留时间等参数。

6.3.7 斜管（板）的推荐参数为：

- 斜管（板）之间间距应不小于50 mm，斜管（板）长应为1.0 m~1.2 m；
- 斜管（板）的上层应有0.5 m~1.0 m的水深，底部缓冲层高度为1.0 m，斜管（板）下为废水分布区，一般高度应不小于0.5 m，布水区下部为污泥区；
- 斜管（板）与水平面呈 60° ，斜管孔径应为80 mm~100 mm。

6.3.8 当产水 pH 值大于 7.5 时，应使用 pH 调节剂调节 pH 值为 6.8~7.5。pH 调节剂应选用工业硫酸，同时综合考虑循环冷却水中钙离子、氯离子、硫酸根离子、浓缩倍率等指标。

6.3.9 pH 调节剂应使用加药泵投加，应采用在线 pH 控制系统控制加药泵的运行。

6.3.10 单元产水水质应满足浊度不大于 10 NTU，硬度（以 CaCO_3 计）不大于 300 mg/L， SiO_2 不大于 40 mg/L，总铁不大于 0.5 mg/L。单元产水进入过滤单元。

6.3.11 高密度沉淀池应定期进行排泥处理。泥渣进入污泥脱水单元。

6.3.12 应设置产水池/罐及传输泵。

6.4 过滤单元

6.4.1 过滤单元由介质过滤器和超滤装置串联组成，单元处理流程见图 2。

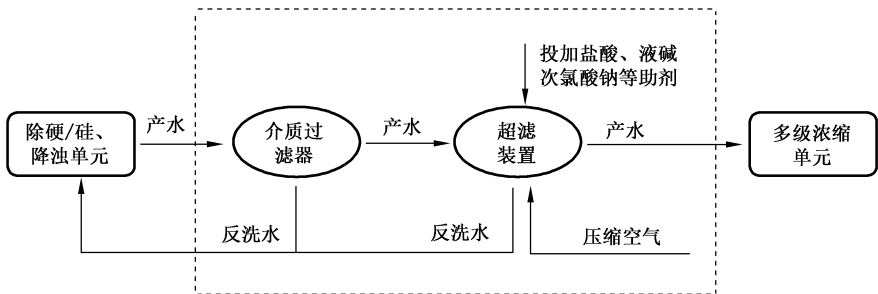


图 2 过滤单元处理流程

6.4.2 单元处理规模应按照除硬/硅、降浊单元出水量的 1.2 倍~1.3 倍进行设计。

6.4.3 介质过滤的相关要求按 6.1.4 执行。

6.4.4 介质过滤宜在线投加适量的混凝剂（如聚氯化铝、聚氯化铁、聚合硫酸铁等），产水浊度应不大于 5 NTU。

6.4.5 超滤的相关要求按 6.1.5 执行。

6.4.6 介质过滤的反洗水和超滤反洗水均应返回除硬/硅、降浊单元进行处理。

6.5 多级浓缩单元

6.5.1 应根据水质、场地、经济性等多方面因素选择反渗透或电渗析工艺。

6.5.2 采用反渗透工艺时，应根据进水水质选择适用的膜元件、满足运行压力等级的管路、阀门及膜容器和泵组系统。当进水含盐量 $\leq 7\,000\text{ mg/L}$ 时，膜元件宜选用中低压膜，如苦咸水淡化膜；当进水含盐量 $> 7\,000\text{ mg/L}$ 时，宜选用高压膜，如海水淡化膜。

6.5.3 反渗透装置的相关控制要求为：

- 进水水质应满足余氯小于 0.1 mg/L ，控制为0；铁小于 0.05 mg/L ；SDI小于5；
- 进水端应设置阻垢剂、还原剂、非氧化杀菌剂加药点，并配置化学清洗系统。

6.5.4 采用电渗析工艺时，应选择均相膜电渗析装置，装置进水水质要求包括：

- 水温为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 游离氯小于 0.2 mg/L ；
- 铁离子小于 0.3 mg/L ；
- 锰离子小于 0.1 mg/L ；
- 浓缩后成垢离子的离子积应小于难溶盐溶度积，如水中同时含有 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} ，则要求浓缩后 $[\text{SO}_4^{2-}][\text{Ca}^{2+}]$ 小于 4.93×10^{-5} 。

6.5.5 电渗析装置应采用恒压或恒流操作方式，电流密度宜为 $250\text{ A/m}^2\sim 400\text{ A/m}^2$ ，每对膜间操作电压宜为 $0.5\text{ V}\sim 1\text{ V}$ 。

6.5.6 应设置产水及浓水池/罐及传输泵。

6.6 结晶出盐单元

6.6.1 多级浓缩单元的浓水可直接进入结晶出盐单元进行除盐，结晶出盐单元应采用多效蒸发或蒸汽机械再压缩技术（MVR）。

6.6.2 如对结晶出盐单元得到的混盐有资源化利用需求，应将多级浓缩单元的浓水先经纳滤系统进行分盐，纳滤产水进入蒸发结晶工艺，纳滤浓水进入冷冻结晶工艺进行处理。采用纳滤时， Na^+ 、 Cl^- 等一价离子脱除率应不小于30%； Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等二价离子脱除率应不小于90%。

6.6.3 应设置母液池/罐及传输泵。

6.7 污泥脱水单元

6.7.1 污泥机械脱水之前，应先进行重力浓缩脱水或化学浓缩脱水。

6.7.2 污泥脱水装置可选择压力式、带式、离心式和螺旋挤压式，应根据场地、经济性、操作、安全等多方面因素综合考虑设备选型。

6.7.3 污泥脱水过程中分离出的滤出水应经废水收集池回流到除硬/硅、降浊单元进行再处理。

6.7.4 泥渣含水率（质量分数）宜不大于95%；泥饼含水率（质量分数）应不大于80%。

6.7.5 应投加阳离子聚丙烯酰胺等污泥脱水剂以提高成泥效果。

6.7.6 应设置污泥浓缩罐、废水收集池/罐及传输泵。

7 水质及系统控制要求

7.1 补充水要求

使用再生水、地表水、地下水等水源作为补充水，补充水水质应符合表1的要求。

表 1 补充水水质要求

项目	允许值	测定方法文件编号
pH值（25℃）	6.5~8.5	GB/T 22592
悬浮物（SS）/（mg/L）	≤10	GB/T 23838
浊度/NTU	≤5	GB/T 15893.1
COD/（mg/L）	≤50	GB/T 15456
石油类/（mg/L）	≤5	HJ 637

7.2 系统控制要求

- 7.2.1 换热设备传热面水侧黏附速率应不大于 15 mg/（cm²•月），炼化化工行业应不大于 20 mg/（cm²•月）。
- 7.2.2 碳钢换热设备传热面水侧腐蚀速率小于 0.075 mm/a，铜合金和不锈钢换热设备传热面水侧腐蚀速率小于 0.005 mm/a。
- 7.2.3 循环冷却水异养菌总数不大于 1.0×10⁵ 个/mL。
- 7.2.4 循环冷却水生物黏泥不大于 2.0 mL/m³，炼油行业不大于 3.0 mL/m³。

7.3 循环冷却水水质控制要求

循环冷却水系统运行过程中水质应符合表 2 要求。

表 2 循环冷却水水质控制要求

项目	允许值	测定方法文件编号
pH值（25℃）	6.8~9.5	GB/T 22592
浊度/NTU	≤30	GB/T 15893.1
钙硬度+总碱度（以CaCO ₃ 计）/（mg/L）	≤1 100 ^a	GB/T 15452 GB/T 15451
总Fe/（mg/L）	≤2.0	GB/T 14427
Cl ⁻ /（mg/L）	≤1 000 ^b	GB/T 15453
^a 适用于自然浓缩运行。若在加酸系统，则钙硬度（以CaCO ₃ 计）一般不超过1 800 mg/L。		
^b 当流速、换热器形式、检修周期、安装形式等适宜的情况下，可酌情放宽Cl ⁻ 指标，一般不超过5 000 mg/L。		

8 安全及环保要求

- 8.1 应按照《国家危险废物名录》和 GB 5085.7、HJ 298 的规定对泥饼、混盐进行鉴别。经鉴别属于危险废物的，应交由有资质的专业危险废物处理机构进行处置，危险废物在厂内的贮存和转移过程应按 GB 18597 的相关规定；经鉴别属于一般固体废物的，应按 GB 18599 的要求进行处理。
- 8.2 危险化学品的储存及使用应按照《危险化学品安全管理条例》中的规定执行。

