

ICS 13.060.30

CCS Z 60

团 体 标 准

T/ACEF 297—2026

城镇污水处理厂尾水深度除磷技术指南

Guidelines of technical for advanced phosphorus removal from tail water of
municipal wastewater treatment plant

2026-09-03 发布

2026-09-04 实施

中 华 环 保 联 合 会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 混凝沉淀 2

6 磁混凝 3

7 电混凝 4

8 吸附 5

9 溶气气浮 5

10 组合工艺 6

附录 A（资料性）混凝沉淀工艺参数范围 9

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。

本文件由中华环保联合会水环境治理专业委员会提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位：北京科净源科技股份有限公司、湖南先导洋湖再生水有限公司、成都市兴蓉环境股份有限公司、中华环保联合会水环境治理专业委员会。

本文件参编单位：北京林业大学、清华大学、中国环境科学研究院、中车环境科技有限公司、北京师范大学、昆明滇池水务股份有限公司、广州水务环保技术有限公司、武夷学院、山西交控生态环境股份有限公司、中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司、清华大学天津高端装备研究院、徐州美利圆环保科技有限公司、湖南鑫远环境科技集团股份有限公司、东莞市水务环境投资控股集团净水有限公司、华北电力大学、水利部长江勘测技术研究所、中环博通环保咨询（北京）有限公司、河北君正环境工程有限公司、北京高能时代环境技术股份有限公司、中关村至臻环保股份有限公司。

本文件主要起草人：郭星、张艳、冯浩、王毅力、王文明、贺建伟、赵健、郑茂盛、严兴、陈志挺、李亮、孟建军、刘昀、张红、刘晓瑞、王家雷、胡胜、周翔宇、王艳霞、戴永康、崔佳鑫、李伟、张旭擎、孟军、郭浩东、张事、张馨颖、孙斌。

本文件为首次发布。

城镇污水处理厂尾水深度除磷应用技术指南

1 范围

本文件给出了城镇污水处理厂尾水深度除磷的混凝沉淀、磁沉淀、电混凝、吸附、溶气气浮和组合工艺等。

本文件适用于城镇污水处理厂尾水深度除磷。

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 3838	地表水环境质量标准
GB 18918	城镇污水处理厂污染物排放标准
GB/T 18920	城镇污水处理厂污染物控制技术规范
HJ 2006	污水混凝与絮凝处理工程技术规范
HJ 2007	污水气浮处理工程技术规范

3 术语和定义

GB 3838 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深度除磷 advanced phosphorus removal

利用物理、化学技术及其组合工艺，将城镇污水处理厂尾水中总磷浓度降至低于0.3mg/L 的水处理过程。

3.2

溶气气浮 dissolved-air flotation

利用压力调节气体溶解度形成微气泡。通过微纳米气泡释放过程中产生的扰动，在水力流动场的作用下，结合定制药剂，在设备内反应后，浮渣刮除、沉泥吸除，实现除磷与净化的技术。

4 总则

- 4.1 污水处理厂尾水深度除磷工艺出水水质总磷指标排放浓度符合国家现行标准的前提下达到地方排放标准。
- 4.2 污水处理厂尾水深度除磷工艺技术路线，在充分调研污水处理厂进水水量、二级生物处理后水质变化规律，以及有机物、磷营养盐组分浓度的基础上，结合污水处理厂工况及现场实际条件等因素合理选择。
- 4.3 深度除磷工艺采用物理或化学除磷，需要时，可选择多级除磷工艺。
- 4.4 深度除磷工艺设计选择技术成熟、节能高效和运行稳定的工艺。
- 4.5 除磷工艺设计按现场情况、生产实践经验和先进科技成果，采用节地节能、经济高效的新技术、新工艺、新材料和新设备，提高技术水平。
- 4.6 污水处理厂尾水深度除磷工艺设计在保证城镇污水处理厂安全、经济运行或地表水体发挥正常功能的前提下，合理利用水资源，提高水利用率，降低排水对环境的影响。
- 4.7 对于污水处理厂尾水深度除磷提标改造工程，根据现有处理工艺的处理效果及可利用预留用地、总磷出水标准，经技术经济比较确定。
- 4.8 结合相关工程案例或试验数据，必要时进行现场试验验证。

5 混凝沉淀

5.1 概述

混凝沉淀主要包含加药、混合、反应、沉淀单元。混凝流程符合 HJ2006 的规定。

5.2 技术条件

5.2.1 混凝反应核心操作要点在于按混凝剂品种调控混合工况。金属盐类混凝剂采取急剧且充分的混合模式，促使药剂与水体快速融合；而高分子絮凝剂的混合过程则慢速搅拌，避免因过度搅拌影响絮凝作用的发挥。

5.2.2 混凝沉淀技术，其中无机高分子混凝剂适用于 pH 为 6.5-8.5 的城镇污水处理厂等尾水。工艺流程相对简单，易于操作和控制。

5.2.3 混合搅拌速度梯度 G 值为 $600\sim 1000\text{s}^{-1}$ ，混合时间为 10~60 s。保障化学反应和絮凝过程充分进行，达到较好的除磷效果。

5.2.4 混合方式采用机械混合，采用桨板式混合，桨板转速根据流量和不同水质灵活调节。

5.2.5 搅拌强度根据混凝剂种类选择，使药剂与水充分混合，均匀、迅速扩散到污水中。

5.2.6 常用混凝剂归纳为下列类型：

1) 无机盐类：包括硫酸铝、硫酸铝钾、铝酸钾等铝盐；三氯化铁、硫酸亚铁、硫酸铁等铁盐和碳酸镁等；

2) 高分子物质：包括聚合氯化铝，聚合硫酸铁等。

5.2.7 智能加药控制主要由下列部分构成：

1) 硬件部分：包括进水流量计，总磷在线监测仪、pH 计、变频计量泵、PLC 控制器、触摸屏、搅拌器、加药桶等；

2) 软件部分：包括数据采集、数据预处理、数据分析、需要量计算、故障诊断、安全保障以及控制算法。

3) 控制逻辑：系统采用前馈加反馈复合控制作为核心框架，引入模型预测等智能算法进行优化。一是前馈优先，根据进水进水流量和进水总磷浓度负荷提前调整投加量，快速响应水质波动。二是反馈校正，根据出水总磷实测值与设定值的偏差进行精细调节，消除稳态误差。三是智能优化，基于历史运行数据动态调整控制参数，适应水质水量的季节性变化。

5.2.8 混凝沉淀工艺参数及除磷效果见附录 A.1。

6 磁混凝

6.1 概述

磁混凝是指在混凝过程中加入磁性颗粒物质，使混有磁粉的絮体比重增大并高速沉降从而提高混凝沉淀效果，工艺流程如图 2 所示。

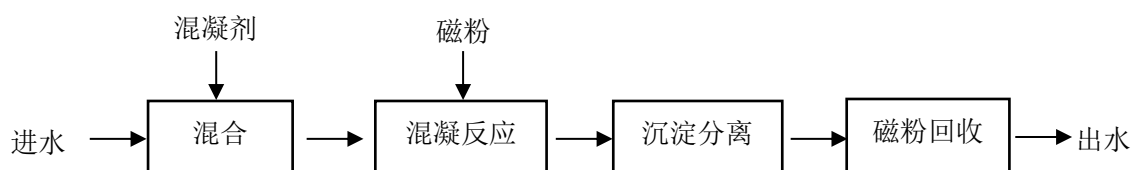


图 2 磁混凝工艺流程图

6.2 应用条件

- 6.2.1 工艺设计根据项目设计规模、进水水质、出水水质要求等因素合理确定。
- 6.2.2 混凝单元与沉淀单元合建。
- 6.2.3 污泥泵具备耐磨损、耐腐蚀等性能，选用渣浆泵等同类型泵。
- 6.2.4 磁粉污泥管道材质选用高密度聚乙烯(HDPE)等耐磨性材质。管道与设备连接采用柔性接头。
- 6.2.5 通过磁场分离设备将含有磷的吸附剂颗粒有效地分离和回收，安全处理。
- 6.2.6 常见的磁材料类型主要为 Fe_3O_4 及其改性材料。
- 6.2.7 磁介质初始投加量 0.5~2 g/L，混凝时间 15~30 min，日常磁粉损耗量为 10~20mg/L,后续每日补充磁材料 10~20mg/L。
- 6.2.8 磁混凝工艺参数及除磷效果见附录 A.2。

7 电混凝

7.1 概述

电混凝主要由电混凝、过滤处理单元组成。此方法在外加电场或自身电场作用下，以牺牲金属电极产生金属阳离子絮凝剂或经水解、聚合、架桥等反应生成的具有吸附作用的羟基化合物，以此与水中磷酸盐反应从而除磷。在外加电压条件下，通过给电极施加电流，使污染水体中的金属阳离子释放，形成金属氢氧化物，通过共沉淀或电化学沉淀的方式使磷酸盐沉淀，从而实现高效去除磷的目的。工艺流程如图 3 所示。



图 3 电混凝工艺流程图

7.2 应用条件

- 7.2.1 常用的电极材料为铁板和铝板。
- 7.2.2 电流密度范围为 1~30 mA/cm² 较为合适，但设定值应结合电间距、水体 pH、经济成本等其他因素确定。其中低污染废水，电流密度为 1~5 mA/cm²；常规生活/市政污水，电流密度为 3~10 mA/cm²；高污染工业废水 10~30mA/cm²。
- 7.2.3 电解反应时间为 10~30 min。

7.2.4 pH 值范围为 6.0~8.0。

7.2.5 温度适为 20~40 °C。

7.2.6 电混凝工艺参数及除磷效果见附录 A.3。

8 吸附

8.1 概述

吸附工艺主要分为固定床和流动床。城镇污水处理厂吸附工艺主要通过吸附柱或吸附池实现深度除磷。吸附柱工艺指将待处理水缓慢通过装有活性炭、生物炭、金属氧化物等吸附剂的吸附柱，通过吸附剂的物理、化学作用，实现深度除磷。吸附池工艺是将吸附剂投入吸附池，通过搅拌使其均匀分布，经过一定时间后流入分离池进行固液分离，以实现深度除磷。吸附流程符合 HG/T 6236。

8.2 应用条件

8.2.1 固定床工艺

8.2.1.1 吸附柱是一种管状装置，内部装填吸附剂包括活性炭、生物炭、离子交换树脂、金属（氢）氧化物等。

8.2.1.2 吸附停留时间为 30~60min。

8.2.1.3 吸附温度为 20~30°C，温度过低可能会减缓吸附速率，过高可能导致吸附剂的稳定性下降。

8.2.1.4 pH 值为 6.5~8。

8.2.2 流动床工艺

8.2.2.1 由吸附池和分离单元组成，分离单元选择沉淀、磁混凝等工艺。

8.2.2.2 吸附池是专门用于吸附剂与废水充分接触和反应的设备，通常包括搅拌系统和控制系统。

8.2.2.3 吸附剂投加量为 0.05~1.0 g/L。

8.2.2.4 吸附停留时间为 20~60 min。

8.2.3 吸附工艺参数及除磷效果见附录 A.4。

9 溶气气浮

9.1 概述

孢子转移技术是一种高效的溶气气浮技术，因产生大量的巨大比表面积微纳米气泡，利用微纳米气泡释放过程中产生的扰动，在水力流动场的作用下，定制化药剂与水中的溶

解态与非溶解态的磷发生反应，形成“水-气-固三相混合物”，在微纳米气泡协同作用下，大部分上浮到水面通过刮渣机自动刮除；小部分沉淀到底部，通过底部吸泥机清除，控制内源污染，从而实现深度除磷的同时，还可以达到降浊复氧等水质净化的目的。工艺流程如图 6 所示。

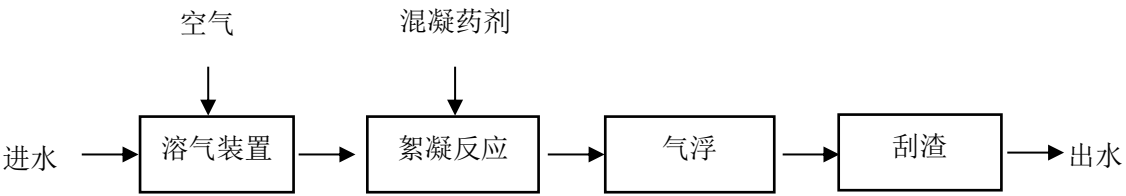


图 6 孢子转移一体机处理工艺流程图

9.2 应用条件

9.2.1 适用于城镇污水处理厂尾水深度除磷、河湖景观水体水质提升、黑臭水体治理、含磷工业废水处理等场景。进水总磷浓度为 0.5~10 mg/L，进水悬浮物（SS）浓度为 50~300 mg/L，当 SS 浓度过高时，增设预处理措施；

9.2.2 混凝剂投加量宜为 20~50 mg/L，助凝剂（孢子聚焦剂）投加量为 0.2~1.5 mg/L，具体投加量根据进水水质通过试验确定；

9.2.3 混合反应时间为 5~10 min，反应池出口流速控制在 0.1~0.2 m/s，避免打碎絮体；

9.2.4 释放的微纳米气泡粒径为 20~100 μm，气泡与絮体充分接触后形成“水-气-固”三相混合物上浮分离；

9.2.5 包括溶气水量的分离区表面负荷为 8~20m³/(m²·h)，水力停留时间为 20~30 min。

9.2.6 回流溶气水的回流比或溶气水比计算确定，为 15%~30%。

9.2.7 溶气气浮工艺参数及除磷效果见附录 A.5。

10 组合工艺

10.1 概述

10.1.1 组合工艺选用根据污水处理厂出水水质要求、进水水质特性、现有处理设施状况、可利用预留用地、经济投资及运行成本等因素，经技术经济比较后确定。当采用单一除磷工艺无法满足出水总磷排放要求时，采用组合工艺。深度处理段除磷选择砂滤+混凝除磷+微滤/膜过滤、连续电解-吸附、絮凝+气浮、混合反应絮凝+沉淀/气浮+介质过滤工艺过程，常采用的工艺单元包括沉淀池、混凝沉淀、磁混凝、电混凝、吸附、气浮池等。

10.1.2 砂滤+混凝除磷+深度处理

适用于对出水总磷小于 0.1 mg/L 、同时需去除悬浮物的场景。组合工艺出水总磷小于 0.1 mg/L 。该系统主要有砂滤、混凝除磷和微滤三个单元组成。砂滤系统主要包括滤料层、承托层、配水系统、进出水系统、反冲洗系统、控制系统及滤池本体结构构成；废水通过砂滤系统后自流进入混凝除磷系统，经混凝沉淀后，进入微滤/膜过滤系统过滤后最终出水。工艺流程见图 7。

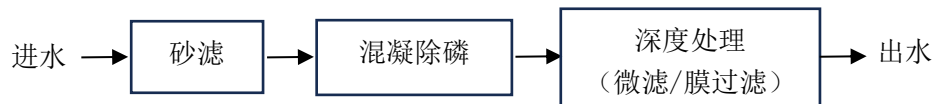


图 7 混凝除磷+过滤工艺流程图

10.1.3 生物除磷+磁混凝工艺

适用于以 AAO 等生物除磷工艺为主体、出水总磷需稳定达到小于 0.1 mg/L 的提标改造工程。磁混凝单元置于二沉池之后，具有占地面积小、沉降速度快、运行灵活等优势，适合用地受限的改造项目将传统 AAO 工艺与磁混凝工艺相结合，生物除磷阶段的厌氧释磷菌释放磷，好氧段过量吸收磷，出水从二沉池后进入磁混凝沉淀系统，进而强化污水处理的除磷效果。工艺流程见图 8。

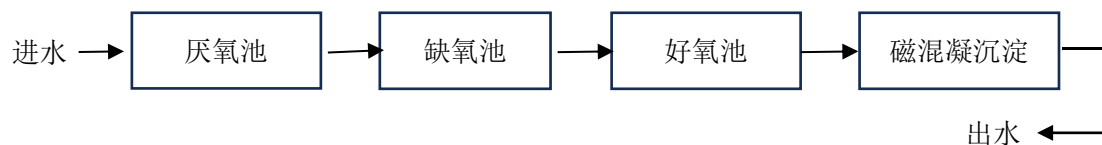


图 8 生物除磷+磁混凝工艺流程图

10.1.4 连续电解-吸附组合除磷工艺

适用于工业园区尾水总磷要求小于 0.05 mg/L 的极限除磷场景。该系统主要有电解槽和吸附柱两个单元组成。电解除磷单元由溶液贮槽、泵、电解除磷反应器、电源、气泵、流量计等构成；吸附分离单元由吸附柱构成。废水通过泵传送进入电解槽中，使用极板数控直流电源供应器调节电解槽中电流电压进行电解反应，通过牺牲阳极上的方法使难溶性固体颗粒沉降，电解反应过程中使用气泵对电解槽进行曝气。电解反应结束后的出水由计量泵传送至吸附柱中，采用活性炭进行吸附除磷。工艺流程见图 9。



图 9 连续电解-吸附组合除磷工艺流程图

10.1.5 絮凝-气浮工艺

该工艺由产气系统、气浮池和絮凝系统三部分组成，具有占地面积小，处理高效、迅速等优点。该组合工艺出水总磷小于 0.05mg/L。工艺流程见图 10。

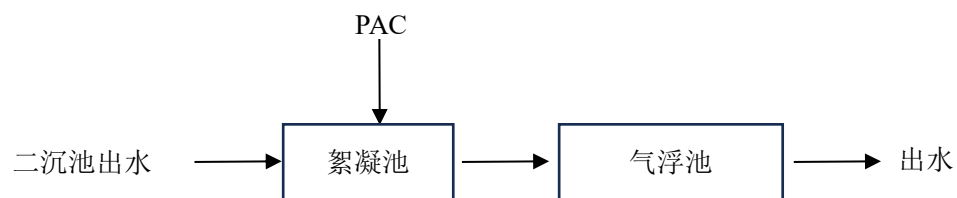


图 10 絮凝-气浮工艺流程图

10.2 工艺参数及除磷效果

组合工艺参数及除磷效果见附录 A.6。

附录 A
(资料性)

混凝沉淀工艺参数范围

A.1 混凝沉淀工艺参数及深度除磷效果见表 A.1。

表 A. 1 混凝沉淀工艺参数及深度除磷效果

混凝剂名称	原水磷浓度 (mg/L)	混凝剂投加量 (mg/L)	处理 时间	pH 值	出水磷浓度 (mg/L)
聚合氯化铝 (PAC)	0.5~1	20-25	20~40 min	6~8	0.2~0.25
聚合氯化铝 (PAC)	1~2	40~80	20~40 min	6~8	0.15~0.25
聚合硫酸铁 (PFS)	0.5~1	20~50	10~20 min	6~8	0.15~0.25
氯化硫酸铁 (FCS)	1~2	20~50	10~20 min	6~8	0.10~0.25
聚合双酸铁 (PFDA)	1~2	40~80	10~20 min	6~8	0.15~0.25

A.2 磁混凝工艺参数及深度除磷效果见表 A.2。

表 A. 2 磁混凝工艺参数及深度除磷效果

工艺名称	原水磷浓度 (mg/L)	混凝剂 种类	混凝剂投 加量 (mg/L)	磁类型	助凝剂 种类	助凝剂投 加量 (mg/L)	时间 (min)	磁种投 加量 (g/L)	出水磷 浓度 (mg/L)
磁混凝	0.5~1	PAC	80	Fe ₃ O ₄	-	-	10~20	0.5~2	0.1~0.2
磁混凝	1~2	PAC	95	-	PAM	0.5~1	10~20	0.5~2	0.07~0.15
磁混凝	0.5~2.5	PAC	30~150	磁性沸石	PAM	0.5~1	10~20	0.5~2	0.1~0.2

A.3 电混凝工艺参数及深度除磷效果见表 A.3。

A. 3 电混凝工艺参数及深度除磷效果

阳极材料	原水磷浓度 (mg/L)	电流密度 (mA/cm ²)	电流 (A)	电压 (V)	处理时间 (min)	出水磷浓度 (mg/L)
铝阳极	0.2-0.5	-	5	30	30	0.15~0.25
铁阳极极	0.5~1	-	0.5	25	40	0.15~0.25
铝和铁板混合阳极	1~1.5	34	-	-	30	0.15~0.25
铝和铁板混合阳极	1~1.5	20	-	-	30	0.10~0.20

A.4 吸附工艺参数及深度除磷效果见表 A.4。

表 A. 4 吸附工艺参数及深度除磷效果

吸附剂名称	静态吸附吸 附剂投加量 (g/L)	动态吸附吸 附剂填充量 (体积比)	吸附时间 (min)	原水磷浓 度 (mg/L)	出水磷浓 度 (mg/L)	饱和吸附容量 (mg/g)
La ₂ O ₂ CO ₃	0.1	-	100	10	0.02	99.8
La(OH) ₃ /Fe ₃ O ₄ (4:1)	0.1	-	30	1.1	0.05	83.5

表 A.4 吸附工艺参数及深度除磷效果（续）

吸附剂名称	静态吸附 附剂投加量 (g/L)	动态吸附 附剂填充量 (体积比)	吸附时间 (min)	原水磷浓度 (mg/L)	出水磷浓度 (mg/L)	饱和吸附容量 (mg/g)
磁性非晶(碳酸)氧化 钴(MZCO)吸附材料	-	0.10	240	2	<0.05	34.05
复合金属改性生物 炭	0.5	-	60	0.5	<0.1	0.8
氟改性水滑石除磷 药剂	0.1	-	60	0.535	0.03	-
磁性复合物 MLC- 21	10.5	-	1440	0.24-0.9	<0.1	-
DN-MCH-La(OH) ₃	-	0.17	600	5	<0.1	53.4
MCH-La(OH) ₃ -EW	-	0.30	1440	5	<0.1	67.7

A.5 溶气气浮操作参数及深度除磷效果见表 A.5。

表 A.5 溶气气浮工艺参数及深度除磷效果

混凝剂名称	原水磷浓度 (mg/L)	混凝剂投加量 (mg/L)	处理 时间	pH 值	出水磷 浓度 (mg/L)
聚合氯化铝 (PAC)	<0.5	35~45	15~25min	6~8	<0.05
聚合氯化铝 (PAC)	0.5~1	35~45	20~30min	6~8	<0.05
聚合氯化铝 (PAC)	0.5~1	25~40	25~35min	6~8	<0.05
聚合氯化铝 (PAC)	1~2	15~20	35~45min	6~8	<0.05

A.6 组合工艺参数及深度除磷效果见表 A.6。

表 A.6 组合工艺参数及深度除磷效果

工艺类别	主要工艺	原水磷浓度 (mg/L)	出水磷浓度 (mg/L)	备注
化学除磷 +膜分离	砂滤+化学除磷 +微滤	0.5~1.0	<0.1	-
	砂滤+化学除磷 +微滤	0.5~1.0	<0.1	-
	化学除磷 +膜过滤	0.5~1.0	<0.1	-
连续电解+ 生态吸附耦合除磷	电解槽+吸附柱	1~2	≤0.05	该系统主要有电解槽和吸附 柱两个单元组成，吸附材料为 活性炭
絮凝+气浮	絮凝+U 型斜板气浮	0.4~0.6	≤0.05	PAC:40~100 mg/L PAM:1~2mg/L

表 A. 6 组合工艺参数及深度除磷效果（续）

工艺类别	主要工艺	原水磷浓度 (mg/L)	出水磷浓度 (mg/L)	备注
生物除磷 +磁混凝 工艺	采用 AAO 作为 主体工艺，磁混凝沉 淀池+滤布滤池作为 深度处理工艺	2~5	<0.1	PAC 投加量 40~100 mg/L, 磁种投加量 10~20mg/L