

ICS 13.020

CCS A 01

团 体 标 准

T/ACEF 0**—20**

城镇污水处理厂尾水深度除磷技术指南

Technical Guide for advanced phosphorus removal from tail water of municipal
wastewater treatment plant

(征求意见稿)

2025-□□-□□发布

2025-□□-□□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	6
11 组合工艺	6
附录 A(资料性) 混凝沉淀工艺参数及深度除磷效果表	1

前 言

本文件根据中华环保联合会的相关要求，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。编制组经系统调查，认真总结实践经验，参考国内外先进产品标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本项标准。

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。

本文件由北京科净源科技股份有限公司提出。

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

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、清华大学天津高端装备研究院、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、成都市兴蓉环境股份有限公司、湖南鑫远环境科技集团股份有限公司、广州水务环保技术有限公司、徐州美利圆环保科技有限公司

本文件主要起草人：

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、组合工艺等。

本文件适用于城镇污水处理厂尾水的深度除磷。

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
T/CAQI 257	磁混凝高效沉淀水处理技术规范

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、化学或生物技术及其组合工艺，将城镇污水处理厂尾水中总磷浓度从 0.5mg/L~2 mg/L 降至 0.3mg/L 及以下的水处理过程。

3.2

溶气气浮 dissolved-air flotation

溶气气浮是通过压力调控改变水中气体溶解度而形成微气泡的物理分离技术。孢子转移技术是利用孢子发生系统产生的微纳米气泡的巨大比表面积，通过释放过程中产生的超

强搅拌作用，与进水和定制化药剂在设备主体中发生反应，形成的浮渣经过刮渣机刮除，沉泥经过底部吸泥机清除，实现水中磷的去除和净化。

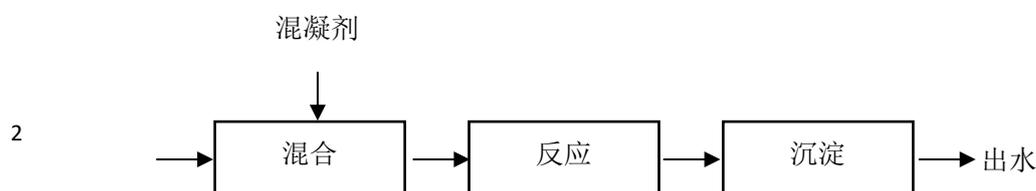
4 总则

- 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、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。
- 4.4 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，节约原水用量，提高水利用率，降低排水对环境的影响。
- 4.5 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。
- 4.6 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，采用人工湿地及其复合工艺进行旁路除磷。
- 4.7 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。
- 4.8 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。
- 4.9 选择新工艺时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、沉淀四部分。流程为向含磷废水中投加混凝药剂，并进行快速搅拌促使混凝剂快速均匀的分散在废水中，之后对其进行缓慢搅拌。反应过程中，混凝剂中阳离子水解形态或预制的聚合形态与水中磷酸根发生吸附络合、表面沉淀等反应，并导致水中颗粒分散体系脱稳并凝聚，形成难溶磷酸盐的絮体，最后经过重力沉降后出水。主要工艺流程如图 1 所示。



进水

图 1 混凝沉淀工艺流程图

5.2 应用条件

5.2.1 概述混凝应采用 GT 值设计，G 值表示水流的速度梯度，T 表示停留时间。通过控制 G 值和 T 值，保障化学反应和絮凝过程充分进行，达到较好的除磷效果。

5.2.2 混凝沉淀技术适用于 pH 范围为 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 混凝剂可归纳为以下两种类型：

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，聚丙烯酰胺等。

5.2.4 混凝剂和目标水体充分混合，混合时间为 10 s-30 s，不超过 20 min。

5.2.5 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。

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

5.2.7 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

磁混凝主要由药剂混合、絮凝反应、沉淀反应及磁粉回收四部分组成。通过向含目标水体投加混凝剂和磁性颗粒介质，搅拌混合后形成具有磁性的、包含难溶磷酸盐的絮体，在外加磁场下进行固液快速分离，剩余污泥经高速剪切机破碎，磁分离机回收磁性颗粒介质，实现水中磷的有效去除。主要工艺流程如图 2 所示。

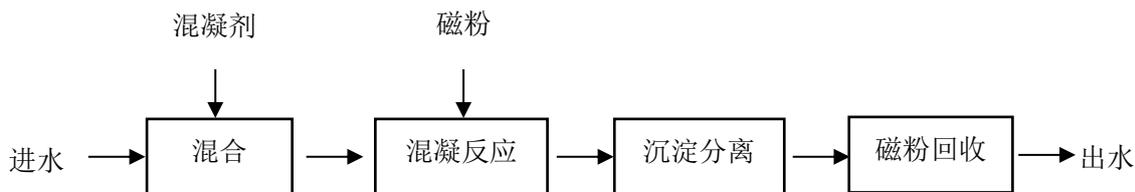


图2 磁混凝工艺流程图

6.2 应用条件

6.2.1 工艺设计应根据项目设计规模、进水水质、出水水质要求等因素合理确定。

6.2.2 混凝单元宜与沉淀单元合建。

6.2.3 污泥泵应具备耐磨损、耐腐蚀等性能，宜选用渣浆泵等类型泵。

6.2.4 磁粉污泥管道材质应选用高密度聚乙烯(HDPE)等耐材质。管道与设备的连接应采用柔性接头。

6.2.5 通过磁场分离设备可将含有磷的吸附剂颗粒有效地分离和回收，实现磷的回收利用或安全处理。

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 磁介质投加量宜为 0.5-2 g/L，混凝时间为 14-30 min。

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、过滤两个处理单元组成。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其经过水解、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。主要工艺流程如图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 电流密度范围宜为 1-30 mA/cm² 较为合适。

7.2.3 电解反应时间范围宜为 10-30 min。

7.2.4 pH 值范围宜为 6.0-8.0。

7.2.5 温度适宜控制为 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，主要工艺流程见图 4 和图 5。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。主要工艺流程如图 4、图 5 所示。



图 4 固定床吸附柱工艺流程图

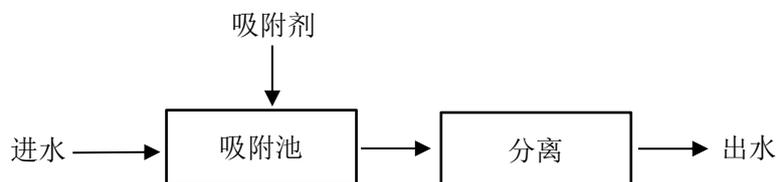


图 5 流动床吸附池工艺流程图

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 吸附停留时间一般在 0.5-24 h。

8.2.1.3 吸附温度一般在 20-30°C，温度过低可能会减缓吸附速率，过高则可能导致吸附剂的稳定性下降。

8.2.1.4 pH 值宜为 6.5-8 之间。

8.2.2 流动床工艺

8.2.2.1 由吸附池和分离单元组成，分离单元可以选择沉淀、磁混凝等。

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 吸附剂投加量宜为 0.05-1.0 g/L。

8.2.2.4 吸附停留时间宜为 12-24 h。

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微纳米溶气气浮技术，因其可以产生大量的巨大比表面积的微纳米气泡，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。主要工艺流程如图 6 所示。

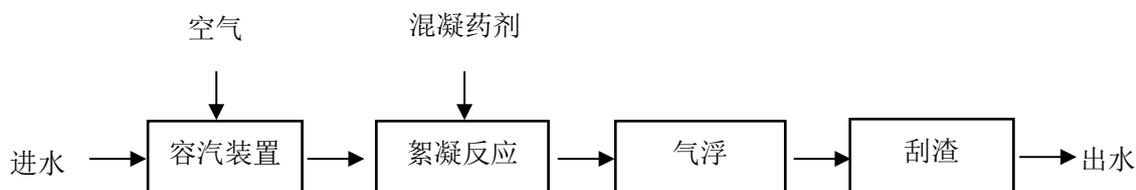


图 6 孢子转移一体机处理工艺流程图

9.2 应用条件

9.2.1 设备有效水深一般取 1.7~3.0m，长宽比一般为 2:1~3:1，单格宽度不宜超过 6m，长度不宜超过 15m，停留时间为 20~40min。

9.2.2 聚合剂的加药量宜为 10-150mg/L，聚焦剂宜为 0.2~1.5mg/L，气泡粒径宜为 0.1~50 μ m。

9.2.3 接触区水流上升速度，下端取 18~33 mm/s 左右，上端取 12~23 mm/s，水力停留时间大于 90 s；接触区隔板垂直角度一般为 60°~70°。

9.2.4 分离区表面负荷(包括溶气水量)宜为 8~20m/(m'·h)，水力停留时间一般为 10~20 min。

9.2.5 回流溶气水的回流比(或溶气水比)应计算确定，一般为 15%~30%。

9.2.6 溶气气浮工艺参数及除磷效果见附录 A.5。

11 组合工艺

11.1 概述

深度处理段除磷一般选择砂滤+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。

1) 砂滤+混凝除磷+微滤/膜过滤

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。该组合工艺出水总磷小于 0.1mg/L。



图 7 混凝除磷+过滤工艺流程图

2) 生物除磷+磁混凝工艺

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。该组合工艺出水总磷小于 0.1mg/L。

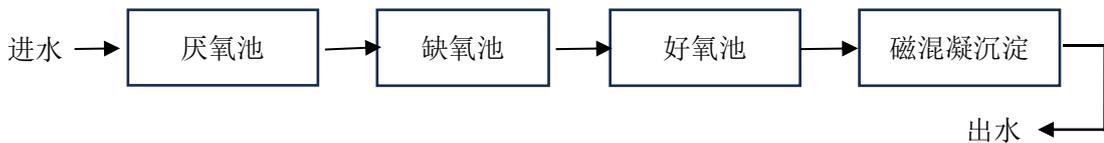


图 8 生物除磷+磁混凝工艺流程图

3) 连续电解-吸附组合除磷工艺

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。该组合工艺出水总磷小于 0.05mg/L。

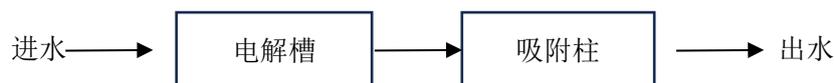


图 9 连续电解-吸附组合除磷工艺流程图

4) 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。

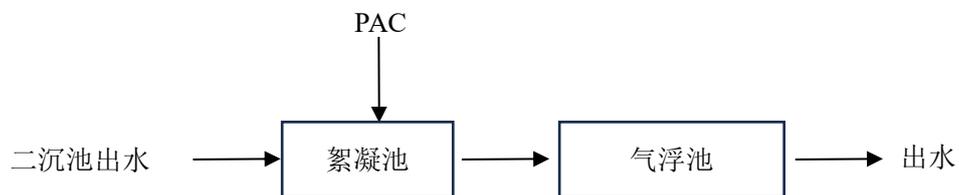


图 10 絮凝-气浮工艺流程图

11.2 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)

混凝沉淀工艺参数及深度除磷效果表

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)	0.4~0.9	20-25	20 min	8	0.2~0.25
聚合氯化铝 (PAC)	2.12	70	33 min	6.75-8	0.15~0.25
聚合硫酸铁 (PFS)	0.68	30	12 min	6.9-7.4	0.15~0.25
硫氯化铁 (FeCS)	1.95	50	12 min	6.9-7.4	0.10~0.25
聚合双酸铁 (PFDA)	1.95	65	12 min	6.9-7.4	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	0.817	PAC	80	Fe ₃ O ₄	-	-	14	2	0.1~0.2
磁混凝	1.21	PAC	95	-	PAM	0.3	15	500	0.07~0.15
磁混凝	0.5~2.5	PAC	30~150	磁性沸石	PAM	1	15	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)
铁阳极极	0.5	-	0.5	25	40	0.15~0.25
铝和铁板混合阳极	1.22	34	-	-	30	0.15~0.25
铝和铁板混合阳极	1.13	20	-	-	30	0.10~0.20
铝阳极	0.2-0.5	-	5	30	30	0.15~0.25

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

T/ACEF 0**—20**

磁性非晶(碳酸)氧化 锆(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 孢子转移操作参数及深度除磷效果见表 A.5。

表 A.5 孢子转移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)	0.39	15-20	19min	6.4-7.2	0.03
聚合氯化铝 (PAC)	0.85	35-45	27min	6.7-7.6	<0.05
聚合氯化铝 (PAC)	0.53	25-40	22min	8	<0.05
聚合氯化铝 (PAC)	0.67	35-45	20 min	6.75-8	<0.05

A.6 组合工艺参数及深度除磷效果见表 A.7。

表 A.7 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	-	<0.1	-
	砂滤+化学除磷 +微滤	-	<0.1	-
	化学除磷 +膜过滤	-	0.07	-
连续电解+ 生态吸附耦合除磷	-	1.2	≤0.03	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	≤0.03	PAC:50 mg/L PAM:0.6mg/L
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	3.96	0.082	PAC 投加量 58mg/L, 磁种 投加量 1.08mg/L