



T/ CECS ××-202×

中国工程建设标准化协会标准

城镇污水处理厂磷污染控制标准

Standards for phosphorus pollution control in urban wastewater treatment plants

(征求意见稿)

××××××××××××××××××××××××出版社

中国工程建设标准化协会标准

城镇污水处理厂磷污染控制标准

Standards for phosphorus pollution control in urban wastewater treatment
plants

T/CECS ×××-202×

主编单位：中国科学院生态环境研究中心

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年××月××日

XXX 出版社

202××北京

前言

《城镇污水处理厂磷污染控制标准》（以下简称标准）是根据中国工程建设标准化协会关于印发《2024年第一批协会标准制订、修订计划》（建标协字〔2024〕15号）的要求进行编制。编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分10章。主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、气浮、化学凝聚、结晶、吸附、离子交换、电解、生物等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由中国科学院生态环境研究中心负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国科学院生态环境研究中心（地址：北京市海淀区双清路18号，邮编：100085，邮箱：leel@rcees.ac.cn）。

主 编 单 位：中国科学院生态环境研究中心

参 编 单 位：清华大学

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

中国长江三峡集团有限公司长江生态环境工程研究中心

重庆三峡生态环境技术创新中心有限公司

中冶生态环保集团有限公司

河南师范大学

郑州大学

黄河水利委员会黄河水利科学研究院

太原理工大学

北京航空航天大学

主要起草人：李 琳 韩云平 兰华春 苗时雨 孙永利 郭亚琼 陈亚松 赵云鹏 王国九
葛静芸 王宇馨 厚文雪 张梦竹 高信刚 张 哲 李鹏宇 肖本益 隋克俭
张燕羽 李明然 贾伯阳 柳蒙蒙 聂中林 潘玉洁 李 程 潘成勇 陈彦霖
武金宝 闫 旭 李晓品 李顺义 王彦杰 柴风光 朱仁成 邓春蕾 范晓军
冯伟莹

主要审查人：

目次

1 总 则	(1)
2 术语和符号	(2)
2.1 术语	(2)
2.2 符号	(3)
3 基本规定	(5)
4 气浮	(7)
4.1 一般规定	(7)
4.2 设备	(7)
4.3 气浮池设计	(8)
4.4 运行维护	(9)
5 化学絮凝	(11)
5.1 一般规定	(11)
5.2 药剂	(11)
5.3 设备	(12)
5.4 技术参数	(12)
5.5 运行维护	(13)
6 结晶	(15)
6.1 一般规定	(15)
6.2 技术参数	(15)
6.3 运行维护	(16)
7 吸附	(18)
7.1 一般规定	(18)
7.2 吸附剂	(18)
7.3 技术参数	(19)
7.4 运行维护	(20)
8 离子交换	(22)
8.1 一般规定	(22)
8.2 离子交换剂	(22)

8.3 技术参数	(23)
8.4 运行维护	(25)
9 电解	(27)
9.1 一般规定	(27)
9.2 电解材料	(27)
9.3 技术参数	(28)
9.4 运行维护	(29)
10 生物除磷	(30)
10.1 一般规定	(30)
10.2 工艺选择	(30)
10.3 技术参数	(31)
10.4 运行维护	(32)
用词说明	(34)
引用标准名录	(35)
条文说明	(36)

Contents

1 General provisions.....	(1)
2 Terms and symbols.....	(2)
2.1 Terms.....	(2)
2.2 Symbols.....	(3)
3 Basic requirements.....	(5)
4 Floatation.....	(7)
4.1 General requirements.....	(7)
4.2 Equipment.....	(7)
4.3 Design of Flotation Tank	(8)
4.4 Operation and Maintenance	(9)
5 Chemical flocculation.....	(11)
5.1 General requirements	(11)
5.2 Agents	(11)
5.3 Equipment	(12)
5.4 Technical Parameters.....	(12)
5.5 Operation and Maintenance	(13)
6 Crystallization.....	(15)
6.1 General requirements.....	(15)
6.2 Technical Parameters.....	(15)
6.3 Operation and Maintenance.....	(16)
7 Adsorption.....	(18)
7.1 General requirements.....	(18)
7.2 Adsorbents.....	(18)
7.3 Technical Parameters.....	(19)
7.4 Operation and Maintenance.....	(20)
8 Ion exchange.....	(22)
8.1 General requirements.....	(22)
8.2 Ion exchangers.....	(22)

8.3	Technical Parameters.....	(23)
8.4	Operation and Maintenance.....	(25)
9	Electrolysis.....	(27)
9.1	General requirements.....	(27)
9.2	Electrolytic materials.....	(27)
9.3	Technical Parameters.....	(28)
9.4	Operation and Maintenance.....	(29)
10	Biology phosphorus removal.....	(30)
10.1	General requirements.....	(30)
10.2	Process selection.....	(30)
10.3	Technical Parameters.....	(31)
10.4	Operation and Maintenance.....	(32)
	Explanation of wording.....	(34)
	List of quoted standards.....	(35)
	Addition: Explanation of provisions.....	(36)

1 总 则

1.0.1 为加强城镇污水处理厂磷污染控制，保护水环境质量，助力实现碳达峰、碳中和目标，推动城镇污水处理行业绿色高质量发展，结合我国城镇污水处理实际情况，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于新建城镇污水处理厂和现有城镇污水处理厂提标改造的磷污染控制。

1.0.3 城镇污水处理厂磷污染控制除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 气浮 floatation

通过向污水中通入 $10\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ 的微小气泡，黏附水中含磷的悬浮和脱稳胶体颗粒，利用浮力实现磷去除的污水处理技术。

2.1.2 化学絮凝 chemical flocculation

通过投加金属盐类或高分子等絮凝剂，与磷酸根离子发生反应形成不溶性沉淀物，利用固液分离实现磷去除的污水处理技术。

2.1.3 投加系数 dosing coefficient

絮凝药剂实际投加量与原水磷之间的摩尔浓度比值。

2.1.4 结晶除磷 crystallization phosphorus removal

通过改变污水的温度、pH 值、离子浓度等物理化学条件，使污水中的磷离子与其他离子发生化学反应，形成难溶性磷酸盐晶体，自溶液中析出，从而实现水中磷去除的技术。

2.1.5 羟基磷灰石结晶法 hydroxyapatite crystallization method

在碱性条件下，通过投加钙源，使污水中的磷酸根与钙离子反应生成羟基磷灰石 ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) 结晶的除磷技术。

2.1.6 鸟粪石结晶法 struvite crystallization method

在弱碱性条件中，通过向含磷污水中投加镁源和铵源，使磷酸根、镁离子、铵离子结合生成磷酸铵镁 ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 结晶的除磷技术。

2.1.7 吸附 adsorption

利用具有高比表面积和特殊吸附性能的吸附剂，通过物理吸附、化学吸附或离子交换吸附等方式，将污水中的磷污染物吸附在吸附剂表面，实现污水中磷与水分离的技术。

2.1.8 离子交换 ion exchange

通过离子交换反应，将磷酸盐固定在离子交换树脂上，实现磷去除的污水处理技术。

2.1.9 特种阴离子交换树脂 special anion exchange resin

通过特殊功能基团修饰或结构设计，针对特定阴离子具有高效选择性吸附的阴离子交换树脂。

2.1.10 电解 electrolysis

向污水中通入直流电，在电极表面发生电化学反应，使污水中的磷污染物发生氧化、还原或沉淀等反应，进而从污水中分离去除的技术。

2.1.11 生物除磷 biological phosphorus removal

利用聚磷菌等微生物在好氧和厌氧交替环境下的生理特性，在厌氧条件下聚磷菌释放体内的磷，在好氧条件下过量摄取污水中的磷，并将其以聚磷酸盐的形式储存在细胞内，通过排出富含磷的剩余污泥实现污水除磷的技术。

2.1.12 总磷 total phosphorus (TP)

污水中各种形态磷的总和，包括正磷酸盐、缩合磷酸盐、有机结合的磷。

2.1.13 溶解性总磷 dissolved total phosphorus (DTP)

污水中呈溶解状态的各种形态磷的总和。

2.1.14 出水水质达标率 effluent quality compliance rate

城镇污水处理厂出水中总磷等污染物浓度达到本标准规定限值的次数占总监测次数的百分比，反映污水处理厂出水水质的达标情况。

2.2 符号

2.2.1 通用符

C_{in} ——进水总磷浓度；

C_{out} ——出水总磷浓度；

Q ——处理水量。

2.2.2 工艺相关符号

A ——分离区水平表面积；

D ——交换器有效直径；

F ——交换器截面积；

G_{ex} ——树脂的工作交换容量；

G_{mix} ——混合强度；

H ——交换器柱体高度；

H_B ——树脂膨胀、反洗预留高度；

H_R ——离子交换树脂填充高度；
 HRT ——水力停留时间；
 I ——电解电流；
 K ——经验系数；
 K_d ——吸附剂对磷酸盐的分配系数；
 Q_{r-flo} ——溶气回流量；
 T ——离子交换周期；
 t ——电解时间；
 U ——电解电压；
 V ——电解槽体积；
 V_{eff} ——电解槽有效容积；
 V_R ——树脂装载量；
 v ——运行流速；
 W ——能耗；
 η ——电流效率。

3 基本规定

3.0.1 城镇污水处理厂磷污染控制技术选择，应符合下列规定：

- 1 遵循高效除磷、节能低碳、运行稳定的原则；
- 2 综合考虑进水水质、出水排放标准、处理规模、当地资源条件及经济可行性等因素；
- 3 现有城镇污水处理厂提标改造应结合厂内现有设施条件，合理选用除磷工艺，确保改造后稳定达标；
- 4 新建和扩建城镇污水处理的磷污染控制设施应与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用 管理要求。

3.0.2 采用气浮技术进行磷污染控制时，应根据污水中磷的存在形态及浓度，合理确定气浮池的表面负荷、停留时间等参数，确保气泡与含磷颗粒有效接触并上浮分离，并应进行妥善处理处置浮渣，防止二次污染。

3.0.3 化学絮凝技术的絮凝剂选择应考虑其除磷效果、经济性及对其他处理单元的影响，投加量应通过试验确定，同时应控制絮凝反应的搅拌速度梯度和时间，保证絮体的形成。

3.0.4 结晶技术用于磷污染控制时，应优化温度、pH 值、离子浓度等操作条件，促进磷酸盐晶体的生成与长大，提高磷的去除率和结晶产物的纯度，结晶产物应根据其性质进行资源化利用或安全处置。

3.0.5 采用吸附技术除磷时，吸附剂应具有较高的吸附容量和选择性，且易于再生或处置。运行过程中应定期监测吸附剂的吸附性能，及时更换或再生吸附剂，避免因吸附饱和导致除磷效率下降。

3.0.6 离子交换技术除磷应选用对磷离子选择性强的离子交换剂，运行时应控制流速、接触时间等参数，确保交换效果。离子交换剂失效后应进行再生处理，再生废液应妥善处理，防止磷的二次释放。

3.0.7 电解技术除磷应根据污水水质特点选择合适的电极材料和电解参数，控制电解过程中的电压、电流等，避免产生过量的有害副产物。电解产生的污泥和气体应进行相应处理，确保达标排放。

3.0.8 生物除磷技术应营造适宜的厌氧、好氧环境，控制污泥龄、溶解氧、污泥回流比等参数，保证聚磷菌的正常生长和代谢，提高生物除磷效率。当进水碳

源不足时，可合理投加碳源，但应避免过量投加对出水水质造成不利影响。

3.0.9 污泥处理处置应符合现行国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918 和现行行业标准《城镇污水处理厂污泥处理技术规程》CJJ 131 的规定，防止污泥二次污染。

3.0.10 设备运行前应进行调试，检查各设备是否正常运行。调试期间应通过调整运行参数，使出水总磷浓度达到设计要求。

3.0.11 污水处理厂应定期对进水、出水及各处理单元的总磷、溶解性总磷等指标进行监测，监测数据应真实、准确、完整，并按要求进行保存和上报。

3.0.12 应建立运行台账，详细记录运行参数、药剂消耗量、水质监测数据、设备维护情况、故障处理情况等，台账保存期限不少于 3 年，为工艺优化和管理提供依据，台账管理应符合现行行业标准《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60 的规定。

3.0.13 城镇污水处理厂应制定磷污染控制应急预案，针对突发停电、设备故障、进水水质异常等情况，明确应急处理措施和操作流程，确保在突发情况下磷污染得到有效控制，避免超标排放。

3.0.14 操作人员上岗前应进行安全培训，工作期间应遵守安全生产规章制度，工佩戴防护用品，定期开展应急演练。

3.0.15 城镇污水处理厂应建立完善的磷污染控制运行管理制度，包括工艺参数记录、设备维护保养、操作人员培训等内容，确保除磷设施稳定运行。

4 气浮

4.1 一般规定

- 4.1.1 气浮适用于去除污水中呈悬浮态、胶体态的磷污染物。
- 4.1.2 城镇污水处理厂宜采用加压溶气气浮。
- 4.1.3 气浮除磷设备的数量应根据处理规模与备用需求确定。
- 4.1.4 气浮除磷设备的材质应耐磨损、耐腐蚀。
- 4.1.5 气浮工艺系统应具备应对进水水质、水量突发变化的能力，确保在非正常工况下仍能有效控制磷污染，保障出水水质稳定。

4.2 设备

- 4.2.1 气浮除磷设备包含溶气设备、溶气释放器、排渣设备、排泥设备和在线监测设备。
- 4.2.2 溶气设备包含溶气罐、空压机和水泵。
- 4.2.3 溶气罐应符合下列规定：
 - 1 性能应满足现行行业标准《污水气浮处理工程技术规范》HJ 2007 和《环境保护产品技术要求 压力溶气气浮装置》HJ/T 261 的规定；
 - 2 溶气罐宜采用立式，当水力条件允许时，可采用卧式；
 - 3 溶气罐的设计工作压力宜为 0.4 MPa ~ 0.5 MPa，并应与工艺设计溶气压力相匹配；
 - 4 溶气罐的容积应根据设计处理水量和溶气水停留时间确定，停留时间宜按 2 min ~ 3 min 设计；
 - 5 溶气罐应配备压力表、安全阀和液位计等安全监测装置；
 - 6 溶气罐内溶气水的回流比应按照现行行业标准《污水气浮处理工程技术规范》HJ 2007 的规定进行计算，值通常在 10%-30%。
- 4.2.4 空压机应符合下列规定：
 - 1 空压机宜选用无油空压机；
 - 2 空压机的排气量应满足溶气需求，且具有稳定的压力输出，压力调节范围应覆盖工艺设计的溶气压力范围。

4.2.5 水泵宜选用耐腐蚀离心泵，性能应符合现行行业标准《离心泵技术条件(I类)》GB/T 16907 的规定；

4.2.6 空压机的供气量、水泵的流量和扬程应与溶气罐的容积和运行压力相匹配，确保溶气效率。

4.2.7 溶气释放器应符合下列规定：

- 1 溶气释放器的型号应根据单个释放器的作用范围确定；
- 2 气泡直径应控制在 20 μ m-100 μ m；
- 3 预处理阶段宜选用 TV 型溶气释放器；
- 4 深度除磷宜选用 TS 型溶气释放器；
- 5 含油脂的污水宜选用 TJ 型溶气释放器；
- 6 释放器的布置应保证在气浮池内均匀分布，间距合理，确保气泡与污水中的含磷颗粒充分接触。

4.2.8 排渣设备包含刮渣机和刮渣板，应符合下列规定：

- 1 刮渣机的行车速度宜控制在 5m/min 以内；
- 2 刮渣机应具有过载保护功能；
- 3 矩形气浮池宜选用桥式或链板式刮渣机，跨度宜在 10m 以下；
- 4 圆形气浮池宜选用行星式刮渣机，适用范围宜在直径 20m 以下。

4.2.9 当污泥量大或需远距离输送时，可采用带式输送机和排泥泵等辅助排泥设备，并应符合下列规定：

- 1 带式输送机应具有防腐、防粘、防臭、防打滑、易清洗、全封闭的功能的性能和技术要求应符合现行国家标准《带式输送机》GB/T 10595 的规定；
- 2 排泥泵宜选用 单螺杆泵或凸轮转子泵，应具有耐磨、耐腐蚀、剪切力小、通过性强和干运行保护的功能。

4.2.10 在线监测设备应包括流量计、压力表、pH 计、液位计等。

4.3 气浮池设计

4.3.1 气浮工艺的设计参数包括气浮池的尺寸参数、表面负荷和水力停留时间。

4.3.2 气浮池的尺寸参数和水力停留时间应按照现行行业标准《污水气浮处理工程技术规范》HJ 2007 的规定进行计算。

4.3.3 表面负荷应按下式计算：

$$q = \frac{Q + Q_{r-flo}}{A} \quad (4.3.3)$$

式中： Q_{r-flo} ——溶气回流水量（ m^3/h ）；

A ——分离区水平表面积（ m^2 ）。

4.4 运行维护

4.4.1 气浮工艺运行前应进行调试，调试项目包括检查溶气罐压力是否稳定、水泵流量是否达到设计值、释放器是否能正常释放气泡、刮渣机运行是否顺畅等，调试合格后方可投入运行。

4.4.2 溶气罐的运行维护应符合下列规定：

1 溶气罐的压力应保持稳定在设计范围内，当压力波动超过 $\pm 0.02MPa$ 时，应检查溶气系统是否存在泄漏、空压机工作是否正常等问题，并及时修复；

2 每周应排放溶气罐内的积水和杂质 1-2 次，保证溶气效率。

4.4.3 空压机的运行维护应符合下列规定：

1 定期检查空压机的过滤器、安全阀等部件，每月清洁过滤器 1 次，确保其正常工作；

2 每运行 1000h-1500h 应对空压机进行一次全面保养，包括更换润滑油、清洁内部零件、检查皮带松紧度等。

4.4.4 水泵运行 1500h-2000h 后应检查叶轮、轴承等部件，查看是否有磨损、腐蚀，必要时进行更换。

4.4.5 每月应拆开溶气释放器进行清洗，清除堵塞物，确保气泡释放正常。

4.4.6 刮渣机的运行维护应符合下列规定：

1 每周应对刮渣机的链条、刮板等部件进行检查，及时清理附着的杂物，调整链条松紧度；

2 每季度对刮渣机进行一次润滑保养，更换磨损的刮板。

4.4.7 气浮池排渣排泥应符合以下规定：

1 应定期清理气浮池内的浮渣和底部污泥，排渣周期视浮渣量而定，浮渣应及时外运处理，防止腐败产生二次污染；

2 污泥应根据池底污泥沉积情况定期排放，污泥应排入污泥处理系统进行处理。

4.4.8 每年应对气浮池的防腐层进行检查，发现破损及时修补，防止池体腐蚀，防腐工程应符合现行国家标准《工业设备及管道防腐蚀工程技术标准》GB/T 50726 的规定。

5 化学絮凝

5.1 一般规定

5.1.1 化学絮凝技术可单独或与生物除磷技术联合用于城镇污水处理厂磷污染控制。

5.1.2 工艺设计与运行应综合考虑污水水质特性、处理规模及排放要求，并符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 的规定。

5.1.3 化学絮凝反应过程应配备固液分离设备，将产生的难溶性颗粒物和絮体分离。

5.1.4 反应产生的污泥宜进行资源回收，实现“减量化、资源化、无害化”的目标。

5.2 药剂

5.2.1 絮凝药剂包含无机絮凝剂和有机絮凝剂，絮凝剂选用时应符合下列规定：

1 无机絮凝剂宜选用硫酸铝（ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ）和聚合氯化铝（PAC， $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ ）等铝盐、氯化铁（ FeCl_3 ）、硫酸亚铁（ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ）和聚合硫酸铁（PFS）等铁盐或氢氧化钙（熟石灰， $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）和氯化钙（ CaCl_2 ）等钙盐；

2 有机絮凝剂可选用聚丙烯酰胺、聚丙烯酸钠等有机高分子化合物和生物絮凝剂，适用于处理低浓度的含磷废水。

5.2.2 药剂使用时应符合下列规定：

1. 有机絮凝剂宜和无机絮凝剂复配，提升絮体沉降性能，减少药剂总消耗量；

2 絮凝药剂的投加宜采用液体方式投加；

3 液体药剂可直接投加或稀释后使用，配制过程应搅拌均匀；

4 固体絮凝剂溶解浓度宜为 5%-20%（按固体质量计），溶解设备应配备搅拌装置。

5.2.3 药剂储存应符合下列规定：

1 药剂的储备量宜按最大投加量的 7d-15d 计算；

2 药剂储存应符合现行行业标准《污水混凝与絮凝处理工程技术规范》HJ 2006 的规定。

5.3 设备

5.3.1 设备应包含配药设备、混合设备和投加设备。

5.3.2 配药设备应符合下列规定：

- 1 由溶液罐、液位计和呼吸阀组成；
- 2 材料应选择耐腐蚀的聚丙烯（PE）/聚乙烯（PP）罐体或钢衬防腐罐。

5.3.3 混合设备可选用包括桨式搅拌器、涡轮搅拌器和推进式搅拌器等机械搅拌类设备，静态混合器、穿孔板混合器和跌水混合槽等水力混合类设备以及微孔曝气器、射流曝气器、表面曝气机等气体搅拌类设备，其性能和技术要求应符合现行行业标准《水处理用溶药搅拌设备》CJ/T 3061 的规定。

5.3.4 投加设备包括计量泵、流量计、管道系统和调节控制系统，应符合现行行业标准《环境保护产品技术要求 水处理用加药装置》HJ /T 369 的规定。

5.4 技术参数

5.4.1 化学絮凝技术与生物技术联合除磷时，絮凝药剂的投加点位可设在初沉池、生物反应池旁路、二沉池或深度处理单元。

5.4.2 投加点设在初沉池时，应符合以下规定：

- 1 适用于有机物浓度较高的污水；
- 2 应控制处理后出水剩余磷酸盐的含量在 1.5~2.5mg/L。

5.4.3 投加点设在二沉池絮凝药剂应投加在生物处理出水或二沉池进水的管/渠中。

5.4.4 投加点设在深度处理单元应满足生物除磷后总磷浓度无法满足出水达标的情况下。

5.4.5 絮凝药剂的投加量应符合以下规定：

- 1 投加量宜通过烧杯试验确定；
- 2 烧杯试验的具体步骤可参照现行国家标准《水的混凝沉淀试杯试验方法》GB/T16881 的相关规定；
- 3 铝盐或铁盐的投加量可参考投加系数（ β ）确定， β 值宜为 1.5-3.0。当对

出水总磷的要求更高（ $<0.5\text{mg/L}$ ）时， β 值的可设为 3.0-6.0。

5.4.6 混合时间宜为 10s-30s， G_{mix} 值宜设置在 600s^{-1} - 1000s^{-1} 。

5.4.7 反应时间宜为 15 min -30min， G_{mix} 值初始宜设置为 100s^{-1} - 300s^{-1} ，末期宜设置为 10s^{-1} - 30s^{-1} 。

5.4.8 反应单元的温度宜设置在 20°C - 30°C 。

5.4.9 反应的 pH 应符合以下规定：

- 1 铝盐的 pH 宜设在 5.0~8.0；
- 2 三价铁盐（ Fe^{3+} ）的 pH 值宜设在 4.5-5.0，（ Fe^{2+} ）的 pH 值宜设在 7.0-8.0；
- 3 钙盐的 pH 宜设在 8.5~11.0；
- 4 有机絮凝剂 pH 宜设在 5.0-9.0。

5.4.10 化学絮凝除磷后，出水中金属浓度应符合现行国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918 的相关规定。

5.5 运行维护

5.5.1 每日应检查一次液位计，如浮球液位计是否卡滞、超声波液位计是否受水汽干扰），并对设备的外观、运行状态、仪表指示等进行检查，确保液位显示正准确。

5.5.2 采用无机絮凝剂时应每日应监测出水中 Al 和 Fe 等金属的浓度，进水水质波动大时，监测频率增加至每日 2~3 次。若检测发现金属超标，应及时采取调整药剂投加量和 pH 等应急措施。

5.5.3 每周应监测一次药剂浓度，并每月对溶液罐设备内部进行清洗，去除残留的絮凝剂和杂质，避免残留药剂结块影响后续药液浓度。

5.5.4 混合反应设备每月应检查搅拌强度，并观察搅拌轴及叶轮是否有锈蚀和损坏，同时检查电机与减速器的润滑油位，确保设备正常运行。

5.5.5 计量泵每季度校准一次，观察计量泵运转是否正常，计量仪表是否显示正常。

5.5.6 宜定期管道、阀门、泵等关键部位进行详细检查，及时更换损坏或失效的部件。

5.5.7 定期监测运行过程污泥的产生情况，避免絮粒在絮凝池中沉淀；当难以避免时，应采取相应排泥措施。

5.5.8 应定时监测絮凝反应形成的絮体大小和形态，合理调整絮凝药剂的投加量，调整设备的运行参数。

5.5.9 絮凝药剂投加设备和管道应采取防腐措施。

6 结晶

6.1 一般规定

6.1.1 结晶除磷技术适用于处理磷酸盐浓度在 10mg/L-100mg/L 的富磷水。包括生物处理单元厌氧池富磷上清液、回流污泥释磷上清液等高磷酸盐浓度污水。

6.1.2 结晶除磷技术根据晶体类型可分为鸟粪石结晶、羟基磷灰石结晶等。

6.1.3 鸟粪石结晶技术可用于氨氮和磷酸盐浓度均较高的污水除磷，羟基磷灰石结晶技术可用于低氨氮高磷酸盐污水除磷。

6.1.4 采用结晶除磷时，宜降低生物单元化学除磷及污泥脱水药剂的使用量。

6.1.5 结晶除磷处理后上清液宜回流到生物除磷系统或深度化学除磷系统前端，再次处理达标后排放，不应直接排放。

6.1.6 结晶形成的羟基磷灰石、鸟粪石等副产物可作为磷产品或化肥原材料。

6.2 技术参数

6.2.1 结晶除磷应包括富磷清液制备单元和结晶单元。

6.2.2 富磷清液制备宜在生物池厌氧区和回流污泥区进行。生物池厌氧区制备的富磷清液宜采用羟基磷灰石技术进行结晶除磷，回流污泥区制备的富磷清液宜采用鸟粪石法或羟基磷灰石技术进行结晶除磷。

6.2.3 富磷清液制备单元包括释磷池和固液分离池，应符合以下规定：

1 释磷池水力停留时间不宜小于 1h；

2 释磷池宜投加硫化钠、乙二胺四乙酸、乙酸钠等药剂强化释磷池化学污泥释磷；

3 固液分离池沉淀的污泥宜优先回流到生物系统缺氧区，用于反硝化除磷。

6.2.4 厌氧富磷清液制备单元宜设置在厌氧区末端，固液分离池可原位设置在厌氧区内部，也可旁路设置。

6.2.5 采用鸟粪石结晶反应器除磷时，可投加聚丙烯酰胺等助凝剂强化固液分离效果。

6.2.6 鸟粪石结晶除磷反应器设计应符合下列规定：

1 宜采用一体化反应器，宜选择流化床模式；

- 2 内壁应光滑耐磨；
- 3 上升流速应小于 400cm/min，流速应均匀渐变；
- 4 进料点应远离搅拌叶轮，各进料点应保持距离；
- 5 沉淀区宜设置为锥形渐变，倾角宜设为 45°-75°；
- 6 镁盐投加量宜按 1:1:1 的比例满足构晶离子 Mg^{2+} 、 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 三者的化学计量比；
- 7 流化床反应器水力停留时间不宜小于 7h，pH 值范围宜为 8.0-10.0，反应温度宜为 25°C-35°C；
- 8 进水磷酸盐浓度不宜小于 50mg/L；
- 9 进水悬浮物（SS）浓度应不高于 20mg/L，可设置预处理单元去除悬浮物；
- 10 应设置曝气设备去除 CO_2 。

6.2.7 羟基磷灰石结晶除磷反应器设计应符合下列规定：

- 1 宜采用一体化反应器，宜选择搅拌式、流化床等形式的反应器；
- 2 钙磷摩尔比宜为 2-4，pH 值宜控制在 9.0-10.0；
- 3 搅拌式反应器混合反应单元水力停留时间不宜小于 15min，沉淀单元水力停留时间不宜小于 20min，流化床反应器水力停留时间不宜小于 7h；
- 4 进水的磷酸盐浓度不宜小于 20mg/L；
- 5 可添加石英砂、方解石、矿渣、珊瑚砂等晶种。

6.2.8 连续运行时厌氧区富磷清液量不宜超过进水量的 30%，回流污泥旁路污泥量不宜超过回流污泥总量的 30%。

6.2.8 应设置药剂存储罐、投配罐和加药泵等附属设施，药剂包括酸、碱、pH 值调节剂和金属盐溶液等；仪表、管材、罐体等材料应光滑且耐酸碱腐蚀。

6.2.9 宜利用沉淀区或循环池设置晶种回收循环系统。

6.3 运行维护

6.3.1 富磷清液制备单元可采用间歇或连续的运行方式，应根据进水磷负荷和富磷清液磷酸盐浓度进行磷平衡核算，确定适宜的除磷处理量。连续运行时厌氧区富磷清液量不宜超过进水量的 30%，回流污泥旁路污泥量不宜超过回流污泥总量的 30%。

6.3.2 回流污泥释磷池运行管理宜符合下列规定：

1 宜配置氧化还原电位（ORP）在线仪表，ORP 值宜小于-250mV；

2 应根据释磷池出水磷酸盐浓度变化，调整碳源投加量、水力停留时间等运行参数；

6.3.3 固液分离池宜设置 SS 在线监测仪，并根据出水 SS 调整水力停留时间、助凝剂投加量等运行参数。

6.3.4 应定期监测结晶反应器水质及环境指标，分析磷回收产品的性状、纯度等质量指标，评估运行效果，及时调整运行参数。鸟粪石结晶反应器日常监测指标宜涵盖进、出水磷酸盐浓度、 Mg^{2+} 、氨氮、SS、pH 值、有机物等。羟基磷灰石结晶反应器日常监测指标宜涵盖进、出水磷酸盐浓度、 Ca^{2+} 、pH 值、碳酸盐浓度、有机物等。

6.3.5 宜设置 pH 实时监测及自动调节系统，通过 pH 探头和加减泵的联动控制实现 pH 精准控制。

7 吸附

7.1 一般规定

7.1.1 吸附除磷宜作为生物除磷后进一步降低污水中磷浓度的深度处理技术，以满足更严格的出水磷排放标准或特定回用要求。

7.1.2 吸附除磷技术应根据进水水质、水量变化，出水水质目标，综合考虑吸附剂种类、吸附设备选型、运行方式等因素，确保工艺稳定、经济效益。

7.1.3 吸附除磷系统宜具备完善的监测与控制系统，能够实时监测进出水水质、吸附剂工作状态等参数，根据监测数据自动调整运行参数，实现自动化运行。

7.1.4 吸附除磷过程中产生的废弃吸附剂应妥善处理处置，避免造成二次污染，同时应考虑吸附剂中磷及其他有价物质的回收利用可行性。

7.2 吸附剂

7.2.1 吸附剂包括活性氧化铝、沸石、粉煤灰、生物质吸附剂、磁性吸附剂。

7.2.2 吸附剂性能应符合下列规定：

- 1 吸附剂比表面积不应小于 $500\text{m}^2/\text{g}$ ，总孔容不应小于 $0.3\text{cm}^3/\text{g}$ ；
- 2 化学吸附剂磷吸附容量不应小于 $10\text{mg}/\text{g}$ ；
- 3 物理吸附剂磷吸附容量不应小于 $5\text{mg}/\text{g}$ ；
- 4 吸附剂对磷酸盐的分配系数（ K_d ）不应小于 $100\text{L}/\text{g}$ ， Cl^- 、 SO_4^{2-} 等共存离子干扰率不应大于 20%；
- 5 吸附剂再生效率不应小于 80%，循环使用次数不应小于 5 次，吸附剂溶损率不应大于 2%；
- 6 吸附剂浸出毒性应符合现行国家标准《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 50853 的规定；
- 7 生物质吸附剂中重金属含量不应大于 $50\text{mg}/\text{kg}$ 。

7.2.3 吸附剂适用条件应符合下列规定：

- 1 金属基吸附剂适用范围广，适用于处理中高浓度磷污水；
- 2 工业废物吸附剂适用于处理中低浓度磷废水；
- 3 活性炭吸附剂适用于处理有机物含量高的中低浓度磷污水；

4 生物质吸附剂适用于中低浓度磷污水，含磷污水预处理或低排放要求的场景；

5 磁性吸附剂适用于可高效固液分离的磁混凝设备。

7.2.4 吸附剂的改性方法应符合下列规定：

1 金属离子负载通过浸渍、沉淀等方法将铁、铝、镧、钙等金属离子负载到吸附剂表面；

2 酸碱改性利用酸处理或碱处理方法改性吸附剂；

3 氧化还原改性通过氧化或还原反应改变吸附剂表面的化学状态；

4 复合改性将两种或两种以上的材料复合在一起，形成具有协同效应的复合吸附剂；

5 热处理改性通过在一定温度下对吸附剂进行热处理，改变其晶体结构、孔结构和表面官能团；

6 磁性材料改性采用磁性介质对吸附剂进行改性。

7.2.5 吸附剂的再生方法包括加热再生和冲洗再生等物理再生法、酸碱再生和药剂洗脱再生等化学再生法以及生物再生法。应符合下列规定：

1 应根据吸附剂种类确定再生方法，活性氧化铝宜采用高温焙烧法再生，条件为 500℃–600℃下焙烧 2–3 小时；磁性吸附剂可通过交变磁场脱附或酸碱洗涤再生，再生循环次数不宜低于 200 次，且吸附容量损失应控制在 10%以内。

2 应严格控制再生条件，在保证再生效果的同时，减少对吸附剂结构和性能的不利影响。

7.2.6 吸附剂的粒度应根据吸附设备的类型和运行条件合理选择，确保吸附剂具有良好的传质性能和水力条件，避免因粒度太小导致吸附剂流失或堵塞设备。

7.2.7 吸附剂的选择应综合考虑磷吸附容量、吸附选择性、吸附速率、机械强度、化学稳定性、再生性能以及成本等因素。

7.3 技术参数

7.3.1 吸附剂投加量应根据进水磷浓度、吸附剂吸附容量以及出水水质要求，通过试验或工程经验确定。应符合下列规定：

1 铝基吸附剂投加量为 5g/L-20g/L；

2 沸石吸附剂投加量为 10g/L-30g/L；

3 粉煤灰吸附剂投加量为 20g/L-50g/L;

4 生物质吸附剂投加量为 15g/L-40g/L;

5 磁性吸附剂投加量为 0.5g/L-2g/L。

7.3.2 吸附接触时间应根据吸附剂种类和污水水质确定。宜符合下列规定:

1 快速吸附剂的接触时间宜为 15min-30min;

2 慢速吸附剂的接触时间可延长至 30min-60min 。

7.3.3 吸附反应的 pH 值应符合下列规定:

1 活性氧化铝吸附剂的最佳 pH 值为 5.0-7.0;

2 沸石吸附剂的最佳 pH 值为 6.0-8.0;

3 粉煤灰吸附剂的最佳 pH 值为 4.0-6.0;

4 生物质吸附剂的最佳 pH 值为 5.0-7.0;

5 磁性吸附剂的最佳 pH 值为 6.0-8.0。

7.3.4 吸附温度应根据污水实际温度、结合吸附剂性能特点、综合考虑吸附效果和运行成本来确定，通常应设为 20℃-30℃。

7.3.5 吸附设备的水力负荷应根据吸附剂种类、设备类型以及处理水质要求合理确定，应符合下列规定:

1 固定床吸附设备的水力负荷为 $0.5\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ - $2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;

2 移动床吸附设备的水力负荷为 $1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ - $3\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$;

3 流化床吸附设备的水力负荷较高，为 $3\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ - $6\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

7.4 运行维护

7.4.1 应定期对吸附剂的吸附性能进行检测，通过测定吸附剂对磷的吸附容量变化，评估吸附剂的工作状态。当吸附剂吸附容量下降至一定程度，影响出水水质达标时，应及时对吸附剂进行再生或更换。

7.4.3 运行过程中应密切关注吸附设备的运行状况，定期检查设备的密封性、搅拌装置、进出水管道等部件，确保设备正常运行。及时清理设备内的杂物、沉积物，防止堵塞影响设备的水力条件和吸附效果。

7.4.4 对吸附除磷系统的监测仪器仪表应定期进行校准和维护，确保监测数据的准确性和可靠性。及时处理监测数据，根据数据变化分析系统运行状态，发现问题及时调整运行参数或采取相应的维修措施。

7.4.5 应制定完善的操作规程和应急预案，加强对操作人员的培训，使其熟悉吸附除磷工艺的原理、操作方法、设备维护要点以及应急处理措施。操作人员应严格按照操作规程进行操作，避免因操作不当导致系统故障或出水水质超标。

8 离子交换

8.1 一般规定

8.1.1 离子交换技术适用于城镇污水厂深度处理阶段去除总磷浓度为 0.5mg/L-1.0mg/L 的痕量磷酸盐。

8.1.2 离子交换除磷的设计应依据污水水质特性、水量变化规律、处理水质指标以及场地条件等因素综合确定，一般符合下列规定：

- 1 硫酸盐大于 200mg/L，宜选用丙烯酸骨架树脂；
- 2 SS 大于 5mg/L 时需前置过滤；
- 3 COD 大于 100mg/L 时需活性炭吸附或生物预处理。

8.1.3 离子交换除磷系统应配备进出水磷浓度等水质参数、交换容量、失效程度、系统运行流速等运行参数的监测与控制系统。

8.1.4 离子交换除磷过程中产生的废弃离子交换剂或再生废液应妥善处理处置。应符合下列规定：

- 1 废弃离子交换剂经鉴别属于危险废物的，应交由有资质的危险废物经营许可证单位处理处置。非危险废物按一般固体废物管理；
- 2 离子交换树脂再生废水液可采用化学沉淀、颗粒活性炭吸附、次氯酸钠氧化、超滤和反渗透等处理。

8.2 离子交换剂

8.2.1 离子交换剂的选择应综合考量其对磷的交换容量、选择性、交换速率、机械强度、化学稳定性、再生性能以及成本等因素。

8.2.2 离子交换剂有强碱性阴离子交换树脂、弱碱性阴离子交换树脂以及特种阴离子交换树脂，选用时应符合下列规定：

- 1 污水 pH 大于 9 时，宜选用强碱性阴离子交换树脂；
- 2 污水 pH 小于 9 或有机物含量 大于 100mg/L 时，宜选用弱碱性阴离子交换树脂；
- 3 多种磷形态共存时，可选用特种阴离子交换树脂。

8.2.3 离子交换剂首次使用前应进行预处理，预处理流程应符合现行国家标准《离子交换树脂取样方法》GB/T 5475 和《离子交换树脂预处理方法》GB/T 5476 的规定。

8.3 技术参数

8.3.1 离子交换系统应包含离子交换柱（器）及辅助设备。

8.3.2 离子交换柱（器）的类型包括固定床、移动床、浮动床和流动床等，应根据污水水质、水量、处理要求以及经济成本等因素综合选择。选择时应符合下列规定：

- 1 固定床适用于中小规模、水质要求不高的场合；
- 2 移动床适用于处理水量大且较稳定，水质要求较高的场合；
- 3 浮动床适用于原水水质稳定，再生剂用量少的场合；
- 4 流动床适用于处理大规模污水且对水质要求严格，需要 24 小时连续运行的场合。

8.3.3 离子交换柱（器）材质应符合下列规定：

- 1 直径大于 1000mm 的，宜采用碳钢结构，内壁应衬能耐酸碱腐蚀的橡胶或其他防腐层；
- 2 直径小于 500mm 的，宜用环氧玻璃钢结构，内壁应衬聚乙烯塑料；
- 3 直径介于 500mm-1000mm 的，可根据实际需要选择碳钢结构或环氧玻璃钢结构。

8.3.4 辅助设备应包括管道、阀门、流量计、水泵、压力表以及水质指标监测设备等。

8.3.5 离子交换系统的设计参数包括工作交换容量、运行流速、再生剂类型、再生流速等，应符合表 8.3.5 的规定。

表 8.3.5 离子交换系统的主要技术参数以及参考值

设备名称	强碱阴离子交换器		弱碱阴离子交换器
	氯型	OH 型	
运行流速（m/h）	15-30（固定床）、30-50（浮动床）		

设备名称	强碱阴离子交换器		弱碱阴离子交换器
	氯型	OH 型	
再生剂类型	NaCl+NaOH	NaOH	Na ₂ CO ₃ /NaOH
再生剂浓度	10%NaCl、 2%-5%NaOH	1%-5%	5%Na ₂ CO ₃ 、 2%-4%NaOH
再生流速(m/h)	4-6		
工作交换容量[mol/m ³ (R)]	250-300		800-1200

注：1. 进再生液时间不宜过短，宜达到 30 min，如时间过短，可降低再生液流速或适当增加再生剂量；

2. “R”代表再生状态，工作交换容量的测定通常是在树脂经过酸、碱或盐溶液恢复其交换能力充分再生后进行的，因此 R 强调该数值适用于再生后的树脂；

3. 本表中离子交换树脂的工作交换容量为参考数据。

8.3.6 离子交换系统的进水宜采用表 8.3.6 的规定。

表 8.3.6 离子交换系统的进水水质要求

测试项目	单位	控制值
水温	℃	5-40
游离余氯(以 Cl ₂ 表示)	mg/L	<0.1
浊度	NTU	< 2
COD _{Mn}	mg/L	< 2

注:1.强碱II型树脂,丙烯酸树脂的进水水温不宜大于 35℃;

2.COD_{Mn} 值是对使用凝胶型强碱阴离子树脂的要求。

8.3.7 离子交换柱（器）有效直径（D）应按下式计算：

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (8.3.7)$$

式中：D——交换器有效直径（m）；

Q——处理水量（m³/h）；

v——运行流速（m/h）。

8.3.8 再生器截面积（F）应按下式计算：

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (8.3.8)$$

式中： F ——交换器截面积（ m^2 ）；

D ——交换器有效直径（ m ）。

8.3.9 再生器柱体高度（ H ）应按下式计算：

$$H=H_R+H_B \quad (8.3.9)$$

式中： H ——交换器柱体高度（ m ）；

H_R ——离子交换树脂填充高度（ m ）；

H_B ——树脂膨胀、反洗预留高度（ m ）。

8.3.10 树脂装载量（ V_R ）应按下式计算：

$$V_R=FH_R \quad (8.3.10)$$

式中： V_R ——树脂装载量（ m^3 ）；

F ——交换器截面积（ m^2 ）；

H_R ——离子交换树脂填充高度（ m ）。

8.3.11 离子交换容量（ G ）应按下式计算：

$$G_{ex}=Q \times T_{ex} \times (C_{in}-C_{out}) / (V_R/100) \quad (8.3.11)$$

式中： G_{ex} ——树脂的工作交换容量（ g/L ）；

Q ——处理水量（ m^3/h ）；

T_{ex} ——离子交换周期（ h ）；

C_{in} ——进水磷浓度（ mg/L ）；

C_{out} ——出水磷浓度（ mg/L ）；

V_R ——树脂装填体积（ m^3 ）。

8.4 运行维护

8.4.1 应每天或每周进行一次日常维护，新系统或水质波动大时宜每天检查，运行稳定的系统宜每周例行检查，检查时应符合下列规定：

1 检查水质：确保进水水质符合设备要求，避免水质过差导致树脂污染或设备损坏，出水水质达标；

2 检查设备部件：包括罐体、管道、阀门等，确保没有泄漏、损坏或松动现象，及时处理设备故障，每年更换一次易损件，保持设备及周边环境清洁，防止杂物进入系统；

3 检查运行参数：如流量、压力等，确保设备在额定参数下运行。

8.4.2 根据水质变化和使用情况定期进行清洗和再生，一般每季度宜清洗和再生一次，进行再生操作应按照操作规程，控制再生剂浓度、流量、温度及再生时间等参数。再生过程中应密切观察再生效果，再生结束后应及时清洗再生装置和管道，防止再生剂残留造成腐蚀或堵塞。

8.4.3 每年应检修维护离子交换器一次。应检查设备内部的防腐层、衬胶等是否完好，如有损坏应及时修复。检查集配水装置、树脂层等是否正常运行，如有异常应及时进行处理。应检查和测试电气控制系统进行，确保设备的安全性和可靠性。

9 电解

9.1 一般规定

9.1.1 电解除磷宜适用于城镇污水厂二级处理出水或经预处理后的污水除磷处理，尤其适用于低浓度磷污水的深度处理。

9.1.2 电解除磷的设计应根据进水水质、水量及出水水质目标，结合当地气候、地形、能源供应等条件，确定电解方式、电极材料、设备参数及工艺流程。

9.1.3 电解除磷设备应具备良好的安全防护设施，包括防触电、防腐蚀、防气体泄漏等措施，操作人员需经过专业培训，严格遵守安全操作规程。

9.1.4 电解过程中产生的气体应进行收集、处理或利用，避免发生安全事故。

9.2 电解材料

9.2.1 电极材料的选择应综合考虑导电性、耐腐蚀性、催化活性、使用寿命及成本等因素。常用的电极材料包括阳极材料和阴极材料。

9.2.2 阳极材料包括铁电极、铝电极和钛基涂层电极，使用时应符合下列规定：

1 铁电极适用于含磷浓度相对较高的污水处理。但其消耗较快，应定期更换，且运行过程需考虑污泥处理处置；

2 铝电极除磷效率较高，可适用于多种水质条件。但铝电极在酸性条件下腐蚀较快，应控制好反应体系的 pH 值，延长其使用寿命；

3 钛基涂层电极化学稳定性好，使用寿命长，可适用于对电极性能要求较高的场合。但其成本相对较高，应根据处理规模和经济条件合理选用。

9.2.3 阴极材料包括活性炭、石墨烯和生物碳，使用时应符合下列规定：

1 活性炭吸附能力强，制备工艺简单，可通过物理作用吸附水中含磷污染物。活性炭可与阳极材料紧密结合，微电解过程稳定性强。

2 石墨烯导电性强且比表面积高，与阳极材料电子传输速率快，可强化金属阳离子的释放，高效捕获含磷污染物并通过絮凝作用去除。

3 生物碳具有丰富的有机官能团和发达的孔隙结构，可通过各类生物质高温碳化制备，来源广泛且环境友好。生物炭理化特性会受到生物质来源的影响。

9.2.4 电解材料的改性应符合以下规定：

- 1 可通过引入催化组分调控其导电性。
- 2 可通过调控孔隙结构增加表面活性位点。

9.3 技术参数

9.3.1 电解设备应包含电解槽、电源装置、电极组、搅拌装置、布水与集水装置、污泥排放装置组成。

9.3.2 电解槽的形状和尺寸应根据处理水量和场地条件设计，常见的有矩形、圆形等。

9.3.3 电源装置应能提供稳定的直流电流或脉冲电流，具备电流、电压调节功能，以适应不同水质和处理要求。电源输出功率应与电解槽规模相匹配。

9.3.4 电极间距应根据电解槽结构、电流密度及处理水量确定，宜为 5mm-30mm。

9.3.5 搅拌装置可采用机械搅拌、曝气搅拌等，搅拌强度应根据电解槽尺寸和反应需求确定。

9.3.6 布水与集水装置应符合以下规定：

- 1 布水方式可采用穿孔管布水、堰式布水等，
- 2 集水方式可采用溢流堰、穿孔集水管等形式；
- 3 布水与集水装置应避免出现短流、死区等现象。

9.3.7 电解除磷过程中，水力停留时间宜设为 15min-30min。

9.3.8 电流密度（J）应根据电极材料和污水水质确定，应符合下列规定：

- 1 铁电极的电流密度宜为 10A/m²-50A/m²；
- 2 铝电极宜为 5A/m²-30A/m²；
- 3 钛基涂层电极宜为 20A/m²-100A/m²。

9.3.9 电解反应的 pH，应符合下列规定：

- 1 采用铝阳极时 pH 值宜为 7.0-8.0；
- 2 采用铁阳极时 pH 值宜为 7.0-9.0。
- 3 采用钛基涂层电极时 pH 值宜为 6.0-9.0。

9.3.10 电解时间（t）可根据试验或经验确定，亦可按下式计算：

$$t = \frac{K \times C_{in} \times V_{eff}}{I \times \eta} \quad (9.3.11)$$

式中： t ——电解时间（h）；

K ——经验系数，取值范围为 0.05-0.2，根据电极材料和污水水质确定；

C_{in} ——进水磷浓度（mg/L）；

V_{eff} ——电解槽有效容积（m³）；

I ——电解电流（A）；

η ——电流效率（%），一般取值 30%-70%。

9.3.11 电解槽体积（V）应按下式计算：

$$V = \frac{Q \times HRT}{60} \quad (9.4.5)$$

式中： V ——电解槽体积（m³）；

Q ——处理水量（m³/h）；

HRT ——水力停留时间（min），一般可取值 10min-60min，根据除磷要求和电流密度确定。

9.3.12 电解设备设计时应通过优化电流密度、电极间距等参数，将能耗控制在经济合理范围内，一般宜小于 5kWh/m³，电解过程中的能耗应按下式估算：

$$W = \frac{U \times I \times t}{Q}$$

式中： W ——能耗（kWh/m³）；

U ——电解电压（V）。

9.4 运行维护

9.4.1 操作人员应定期检测水质指标，同步巡视设备运转状态，并实时监测温升、电压与电流等运行参数，确保设备运转正常。

9.4.2 电极表面结垢厚度大于 1mm 或电压升高大于 15%时应立即清洁。清洁前应关闭电源，清洁过程宜采用盐酸溶液冲洗表面沉积物，清洁后宜冲洗电极表面。

9.4.3 电极材料更换周期宜 ≥ 1 年。当水中氯离子浓度 >1000mg/L 时极板腐蚀速率增加，更换周期宜设为 6-8 个月。

9.4.4 可采用脉冲电源、倒极等措施缓解电极出现的极化、钝化现象，脉冲频率宜为 500Hz-2000Hz，占空比宜为 0.3-0.7，倒极时间宜为 5min-20min。

10 生物除磷

10.1 一般规定

10.1.1 生物除磷宜作为城镇污水处理主体技术，结合污染物去除要求、资源化利用需求等实际情况，与化学除磷技术联合使用。

10.1.2 生物除磷系统应包含独立的厌氧区和好氧区，活性污泥应在时间或空间上形成厌氧和好氧状态的循环交替。

10.1.3 应加强城镇污水生物除磷工程设计的精细化与标准化，提升运行调控灵活性，保障稳定达标排放与节能降耗。

10.2 工艺选择

10.2.1 应根据进水碳磷比、出水 TP 控制限值、污泥减量等不同要求和外部环境条件，结合其他污染物处理需求，选择适宜的生物除磷工艺和单元组合模式。

10.2.2 生物除磷工艺根据功能区时间、空间构成方式，可分为厌氧/好氧（A/O）系列、氧化沟系列、序批式活性污泥（SBR）系列等工艺类型。

10.2.3 生物除磷工艺宜由预缺氧区、厌氧区、缺氧区、好氧区、消氧区与固液分离区等功能区组成，并结合脱氮需求进行功能区组合（图 10.2.3）。

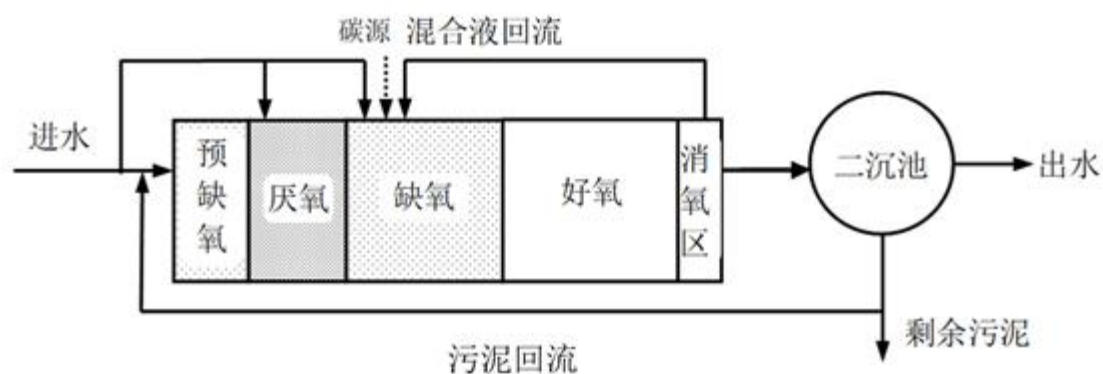


图 10.2.3 污水生物处理工艺系统功能区构成

10.2.4 回流污泥硝酸盐高于 5mg/L 时，宜在厌氧区前设置预缺氧区。

10.2.5 考虑脱氮目标时，可在厌氧池后设置反硝化除磷区，实现“一碳多用”同步脱氮除磷。

10.2.6 混合液回流点前宜设消氧区，降低回流混合液溶解氧对缺氧区反硝化除磷的影响。

10.2.7 出水 TP 目标值 $\leq 0.5\text{mg/L}$ 时，可采用生物除磷与化学除磷耦合的模式强化除磷效果。生物除磷与化学除磷耦合除磷模式主要包括协同化学除磷、旁路高效化学除磷、侧流活性污泥发酵、后置化学除磷等工艺。

10.2.8 可通过提取内部碳源、投加外部碳源、碳源高效利用等方式强化厌氧释磷能力。

10.3 技术参数

10.3.1 生物除磷系统厌氧区进水 BOD_5/TP 宜大于 20，当生物除磷系统磷酸盐去除目标值低于 1mg/L 时，宜适当提高进水 BOD_5/TP 。

10.3.2 预缺氧区设计水力停留时间宜为 0.5h-1.5h，进水比例宜为 0-30%，末端硝态氮宜不超过 1.5mg/L 。

10.3.3 厌氧区设计应符合下列规定：

- 1 设计水力停留时间宜为 1h-1.5h；
- 2 宜在前端设置外碳源投加点，宜将快速碳源投加于厌氧池，协同强化生物除磷；
- 3 厌氧区宜确保充分的混合搅拌状态，搅拌功率密度宜为 2W/m^3 - 5W/m^3 。

10.3.4 反硝化除磷区设计水力停留时间宜为 1h-2h，宜接纳厌氧区出流及经消氧后的好氧区末端混合液，不宜接纳进水或外加碳源。

10.3.5 好氧区设计应符合下列规定：

- 1 设计水力停留时间宜 1h-2h，同步考虑脱氮目标时，设计水力停留时间宜为 5h-9h，且不低于生物系统总停留时间的 50%；
- 2 溶解氧宜控制在 1mg/L - 2mg/L 。

10.3.6 消氧区设计水力停留时间宜为 0.5h-1.0h，末端即内回流点前溶解氧宜控制在 0.5mg/L 以下。

10.3.7 可通过污泥水解池对初沉污泥、剩余污泥进行水解发酵，或通过初沉发酵池提取内部碳源。

10.3.8 外部碳源选择及投加应符合下列规定：

1 可优先考虑接入酒精发酵、啤酒和高糖分食品加工等高含碳低含氮无毒性工业废水，不足时可补充外部商业碳源；

2 外部商业碳源可选择乙酸、乙酸钠、葡萄糖等易生物降解有机物；

3 可通过模拟试验确认外加碳源投加量，当不具备测试释磷能力时，碳源投加量可按 $7\text{mg}-9\text{mgCOD/mgP}$ 估算；

4 外部碳源投加点宜设置在厌氧区前端，并避开污泥回流点和进水点。

10.3.9 碳源高效利用应符合下列规定：

1 以生活污水为主的污水处理厂，初沉池设计水力停留时间不宜大于 1.5h，必要时可缩短至 1h 以内；

2 可通过设置初沉发酵池提取碳源，初沉发酵池固体停留时间宜为 1d-5d，水力停留时间宜为 0.5h-1.0h，表面负荷宜为 $2.0\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ - $2.5\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，泥位宜按有效水深的 60%-80%设计；

3 宜强化预缺氧区的污泥内碳源高效利用；

4 应减少预处理、生物处理单元跌水复氧。

10.4 运行维护

10.4.1 活性污泥泥龄宜控制在 3d-6d，同步考虑脱氮目标时，泥龄宜控制在 15d-20d。

10.4.2 生物除磷系统 pH 值宜控制在 6.5-8.0。

10.4.3 厌氧区运行应符合下列规定：

1 ORP 宜小于 -250mV，硝酸盐浓度宜小于 1.5mg/L；

2 宜提高厌氧池进水比例；

3 宜配置 ORP 和硝酸盐浓度在线检测仪表，评估厌氧区的厌氧环境和释磷效果。

10.4.4 好氧区运行应符合下列规定：

1 可在好氧区后段安装磷酸盐在线仪表，实时监测吸磷效果，指导曝气系统运行；

2 应定期分析好氧区磷酸盐、溶解氧等工艺关键控制指标，评估好氧区效果；

3 宜在好氧区中后段设置氨氮和溶解氧关键在线仪表。

10.4.5 应定期对生物系统开展全流程磷组分迁移转化规律和活性污泥生物除磷效能测试分析，及时调整运行参数，优化系统除磷效能。

用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

下列标准对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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：

《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918

《室外排水设计标准》GB 50014

《危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别》GB 50853

《工业设备及管道防腐蚀工程技术标准》GB/T 50726

《容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》GB 19153

《离子交换树脂取样方法》GB/T 5475

《离子交换树脂预处理方法》GB/T 5476

《离心泵技术条件(I类)》GB/T 16907

《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ 60

《城镇污水处理厂污泥处理技术规程》CJJ 131

《污水混凝与絮凝处理工程技术规范》HJ 2006

《污水气浮处理工程技术规范》HJ 2007

《水处理用溶药搅拌设备》CJ/T 3061

《环境保护产品技术要求压力溶气气浮装置》HJ/T 261

《环境保护产品技术要求 水处理用加药装置》HJ/T 369

中国工程建设标准化协会标准

城镇污水处理厂磷污染控制标准

T/CECS xxx – 202x

条文说明

制定说明

在《城镇污水处理厂磷污染控制标准》的编制进程中，编制组开展了大量基础工作。通过承接相关科研项目，深入开展纵向课题研究，对城镇污水处理厂磷污染控制的关键技术、影响因素等进行系统性攻关。同时，广泛开展项目调研，获取了丰富的一手资料。编制组还全面检索国内外相关标准及技术资料，梳理了美国、欧盟、日本等发达国家和地区的先进经验，对国内现行标准进行了详细比对分析。在此基础上，系统剖析了城镇污水处理厂磷污染控制的研究现状与发展趋势，精准界定了本标准的适用边界，确保标准在实际应用中的可操作性，为标准编制筑牢了坚实的软硬件基础，有力保障了标准质量。

为助力广大科研人员、技术工作者以及管理人员在使用本标准《城镇污水处理厂磷污染控制标准》时，能够精准理解并严格执行条款规定，编制组按照标准的章、节、条顺序，精心编制了本标准的条文说明。条文说明对各条款规定的目的、制定依据以及执行过程中需重点关注的有关事项等进行了详细阐释。需特别说明的是，本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅作为使用者理解和把握标准规定的参考资料，以帮助各方更好地贯彻落实标准要求，提升城镇污水处理厂磷污染控制水平，改善水环境质量。

目次

1 总 则	(40)
2 术语和符号	(41)
3 基本规定	(42)
4 气浮	(43)
4.1 一般规定	(43)
4.2 设备	(43)
4.3 气浮池设计	(44)
5 化学絮凝法	(45)
5.1 一般规定	(45)
5.2 药剂	(45)
5.3 设备	(46)
5.4 技术参数	(46)
6 结晶	(49)
6.1 一般规定	(49)
6.2 技术参数	(49)
6.3 运行维护	(50)
7 吸附	(51)
7.2 吸附剂	(51)
7.3 技术参数	(51)
8 离子交换	(52)
8.1 一般规定	(52)
8.2 离子交换剂	(53)
8.3 技术参数	(53)
10 生物除磷	(566)
10.1 一般规定	(566)
10.2 工艺选择	(566)
10.3 技术参数	(577)

1 总 则

1.0.1 当前，我国水环境中磷污染问题依然突出，城镇污水处理厂作为水污染物排放的重要节点，其磷污染控制效果直接关系到受纳水体的生态安全。近年来，随着经济社会的快速发展，城镇污水排放量持续增加，部分地区污水处理厂出水磷浓度超标现象时有发生，导致水体富营养化问题加剧，破坏了水生态平衡。与此同时，“碳达峰、碳中和”已成为我国重要的战略目标，城镇污水处理行业作为能源消耗和碳排放的重点领域，在绿色低碳发展方面面临着严峻挑战。传统的磷污染控制技术往往存在能耗高、运行成本大等问题，与“双碳”目标和行业绿色高质量发展的要求不相适应。

基于上述情况，为了有效加强城镇污水处理厂的磷污染控制，切实改善水环境质量，本标准在制定过程中充分结合了我国城镇污水处理厂的工艺特点、运行管理水平、区域水质差异等实际情况，旨在为污水处理厂提供科学、合理、可行的磷污染控制技术指导，推动行业向更加绿色、低碳、高效的方向发展，助力实现国家生态环境保护和“双碳”战略目标。

1.0.2 新建城镇污水处理厂在规划、设计阶段，需要根据当地的污水水质特征、处理规模、出水排放标准以及受纳水体的环境容量等因素，选择适宜的磷污染控制技术，以确保建成后能够稳定达标排放，从源头上减少磷污染。

对于现有城镇污水处理厂，由于建设年代、工艺技术等方面的差异，部分污水处理厂可能存在磷去除效果不佳、难以满足现行排放标准或水环境质量改善要求的情况，因此需要进行提标改造。本标准针对现有污水处理厂的提标改造，提供了磷污染控制技术的选择依据和方法，帮助其在现有设施基础上，通过技术升级、工艺优化等方式，提高磷去除效率，满足更高的环保要求。

需要注意的是，本标准所涉及的磷污染控制技术选择，包括预处理、生物处理、深度处理等各个工艺环节，旨在为不同类型、不同规模的城镇污水处理厂提供全面、系统的技术指导。

2 术语和符号

2.1.1 气浮 floatation

在水中产生大量高度分散的微小气泡，使其黏附废水中疏水基的固体或液体颗粒，形成水-气-颗粒三相混合体系。因颗粒粘附气泡后，整体表观密度小于水，絮体上浮到水面，形成浮渣层被刮除，从而实现固液分离的过程，在本标准中用于城镇污水中磷污染物与水的分离。在水中产生大量高度分散的微小气泡，使其粘附废水中疏水基的固体或液体颗粒，形成水-气-颗粒三相混合体系。因颗粒粘附气泡后，整体表观密度小于水，絮体上浮到水面，形成浮渣层被刮除，从而实现固液或者液液分离的过程，在本标准中用于城镇污水中磷污染物与水的分离。

2.1.2 化学絮凝 chemical flocculation

化学絮凝法是利用金属盐类或高分子絮凝剂与磷酸根离子（ PO_4^{3-} ）发生化学反应、吸附作用或混凝沉淀，形成不溶性沉淀物，再通过固液分离去除磷。该技术具有高效、快速、稳定、工艺流程简单、以及对磷负荷变化的适应性强等优点，可根据不同水质和处理需求灵活应用。

2.1.5 离子交换 ion-exchange

离子交换法是一种基于利用离子交换剂的除磷技术，对磷酸根具有高选择性，尤其适用于低浓度(1 mg/L -50mg/L)含磷污水，处理效果稳定，出水磷浓度可降至 0.5mg/L 以下。主要原理是将污水中的 PO_4^{3-} 与交换剂上 Cl^- 、 OH^- 的可交换离子进行置换，从而实现磷的高效去除。

3 基本规定

3.0.11 实时监测进入处理系统的污水中磷的含量，有助于了解原水的水质情况，以便及时调整处理参数，确保处理系统能够适应进水磷含量的变化，避免因磷含量过高或过低而影响处理效果。实时监测处理后出水中总磷的含量是确保出水水质达标的关键环节，一旦发现总磷超标，应及时采取应急措施，避免不达标的水排放到环境中，对水体造成污染。

4 气浮

4.1 一般规定

4.1.2 加压溶气气浮工艺产生的气泡细小、分散均匀，与颗粒的接触效率高，适用于含磷颗粒粒径较小、亲水性较强的污水处理；电解气浮工艺在产生气泡的同时，还具有一定的氧化作用，有助于分解有机磷提高磷的去除率，适用于有机磷含量较大、可生化性较差的污水处理；散气气浮工艺气泡较大，除磷效率相对较低，仅对大颗粒磷有效，适用于颗粒磷占比较大且颗粒粒径较大的污水预处理。城镇污水中溶解性无机磷占比较高，所以通常采用加压溶气气浮。

4.2 设备

4.2.3 回流比指溶气回流水量与进水量的比值，值通常在 10%-30%，决定微气泡数量。若回流比过低，气泡量不足，对小颗粒磷的去除效率差；若回流比过高，容易出现气泡合并降低黏附效率，同时可能会破坏已形成的浮渣层。

4.2.4 空压机应选用无油空压机，以避免油污污染溶气水、降低气浮除磷效率。空压机的排气量应满足溶气需求，且具有稳定的压力输出，压力调节范围应覆盖工艺设计的溶气压力范围。

4.2.5 水泵叶轮、泵壳等与污水接触的部件材质应耐污水腐蚀，密封性能良好，避免漏水影响系统运行效率。

4.2.7 本条是对溶气释放器进行说明：

1 TV 型溶气释放器产生的气泡粒径粗大，抗堵塞能力强，而预处理单元悬浮物浓度高、对气泡细微程度要求较低，因此宜选用 TV 型溶气释放器；。

2 TS 型溶气释放器产生的气泡粒径细小，黏附能力强，而深度除磷单元的除磷需求主要为去除沉降性能差的含磷胶体、颗粒，因此宜选用 TS 型溶气释放器；。

3 TJ 型溶气释放器具有射流冲刷作用，抗堵塞性能好，而油脂极易附着在设备表面导致孔径堵塞，因此含油脂的污水宜选用 TJ 型溶气释放器。

4.2.8 当遇到较大阻力时刮渣机能自动停机，避免设备损坏。

4.3 气浮池设计

4.3.1 气浮池的尺寸参数包括气浮池接触室和分离室的表面积、长度、水深、容积和水力停留时间。

表面负荷指单位时间内气浮池分离区单位表面积净化的水量，反映了分离区的处理能力，若表面负荷过高，气泡与含磷颗粒接触时间不足，黏附概率降低，同时浮渣层易被水流扰动，导致已分离颗粒重新下沉；若表面负荷过低，可能造成气泡过度合并降低浮选效果。

水力停留时间指污水在分离区的平均停留时间，决定含磷颗粒物与气泡的接触时长。若水力停留时间过短，含磷颗粒未充分上浮导致出水悬浮物和磷浓度升高；若水力停留时间过长，可能造成气泡破裂或合并导致浮选效率降低。

5 化学絮凝法

5.1 一般规定

5.1.1 化学絮凝法可单独处理高浓度污泥脱水液/富磷回流水等含磷废水，受水质水量波动影响小、操作简单。化学絮凝法还可与生物除磷工艺联合协同处理，在生物池前、格栅池或沉砂池后投加化学絮凝剂能减少生物池磷负荷，在生物池好氧段末端或二沉池进水口投加化学絮凝剂可直接去除生物池未吸磷的溶解性磷，化学絮凝剂投加二沉池出水后、滤池前满足生物处理后出水磷 $>0.5\text{mg/L}$ 的污水处理厂的提标需求。

5.1.3 化学絮凝法除磷后溶液中生成大量的不溶性的磷酸盐沉淀物并聚集成大颗粒的絮体，需通过固液分离将含磷污泥从系统中排出。固液分离可与初沉污泥和二沉污泥的排放相结合，也可单独进行。单独的固液分离设备主要包括沉淀池和气浮池。对于沉淀性能较差的絮体，宜采用气浮工艺进行固液分离。

5.1.4 化学絮凝在除磷过程产生的污泥主要源于金属盐类絮凝剂与磷酸盐化学反应形成的不溶性磷酸盐，以及水解产物。因含有铝盐和铁盐等絮凝剂的残留以及有机物、磷和重金属等原水污染物，可对其中铁/铝金属离子、磷和有机物质等进行提取、转化或再利用。

5.2 药剂

5.2.1 本条是对絮凝药剂的选用进行说明：

1 无机絮凝剂是以金属盐或无机聚合物为主的化学药剂，其作用机理是通过金属离子与磷酸根反应生成难溶性磷酸盐沉淀，同时金属离子水解形成的多核羟基络合物可吸附悬浮物，强化除磷效果。

2 有机高分子除磷药剂是通过分子结构中的功能基团与磷酸根发生络合作用，再通过絮凝吸附作用去除水体中的磷。由于有机高分子除磷药剂的作用方式以吸附和络合为主，适用于处理低浓度的含磷废水

5.2.2 本条是对药剂使用进行说明：

1 无机絮凝剂的核心作用是电荷中和，通过水解生成的金属氢氧化物胶体，吸附污水中带负电的磷酸盐沉淀悬浮颗粒。有机絮凝剂（如阴离子 PAM）的核

心作用是吸附架桥，其线性高分子链可穿透多个细小初级絮体，通过“物理缠绕 + 吸附”将分散的细小絮体连接成密实的大颗粒絮体。无机药剂“电荷中和”启动颗粒脱稳，有机药剂“架桥缠绕”实现絮体团聚，突破单一药剂的性能局限。

4 化学除磷药剂的投加应具有适宜的浓度，在不影响投加精确度的前提下，宜高不宜低。浓度过低，则设备体积大，液体混凝剂还会发生水解。浓度太高时容易对药剂储罐造成较强腐蚀，故溶液浓度宜适当降低。固体絮凝剂的溶解浓度控制在 5%-20%，目的是保证药剂的溶解效率，同时降低储存体积。

5.2.3 本条是对药剂储存进行说明：

1 药剂储存量是按照药剂管理原则计算，目的是保障连续运行、应对波动需求与控制成本、减少损耗之间实现平衡。

2 固态的除磷药剂具有吸湿性，暴露于空气中易潮解；液态的除磷药剂对金属材料有腐蚀性，尤其在高温或高浓度下腐蚀加剧。固体药剂应存放于干燥、通风库房，地面铺设木板、塑料托盘防潮垫；液体药剂需储存于塑料桶、玻璃钢罐或内衬橡胶/环氧树脂的碳钢罐等耐腐蚀容器，防止金属容器被腐蚀。

5.3 设备

5.3.2 本条是对配药设备进行说明：

1 溶液罐是储存、配制化学药剂溶液的核心设备。液位计目的是实时监测溶液存量，避免“空罐”导致投加泵空转损坏，或“满罐”导致药液溢出。呼吸阀是维持溶液池/溶液罐内部压力与外界平衡，避免罐体因压力异常变形或损坏。

2 由于化学絮凝药剂铝盐和铁盐在水溶液呈酸性，溶液罐需具备防泄漏、防挥发、防腐蚀能力。

5.3.3 当固体药剂易溶解时，可采用水力混合类设备；当药剂难以溶解时，宜采用机械搅拌类设备或气体搅拌类设备。此外，药剂投加量小可采用水力混合类设备，投加量大则宜用机械搅拌类设备或气体搅拌类设备。

5.4 技术参数

5.4.2 本条是对 5.4.2 进行说明：

1 投加点设置在初次沉池前，絮凝药剂投加在沉砂池或初沉池等产生稳流装置的进水管（管）中，形成的含磷沉淀物可以与初沉污泥一起排出。除磷的

同时还可去除有机物，减少生物处理的有机负荷，因此适用于有机物浓度较高的污水。

2 在应用时控制处理后出水剩余磷酸盐的含量是为了满足后续生物处理对磷的需要。出水剩余磷低于 1.5mg/L，虽减少了生物系统负荷，但需大幅增加絮凝药剂投加量，导致药剂成本上升 30%~50%，且初沉污泥量激增，增加后续污泥处置压力；若出水剩余磷高于 2.5mg/L，生物系统需承担过高的磷去除压力，导致生物除磷效果降低，最终出水 TP 超标，还需在后续增加深度化学除磷，反而增加整体成本。

5.4.3 目的是利用管渠内的水力扰动实现高效混合，且絮体生成后可直接进入二沉池沉降，无需额外增设混合 / 絮凝单元，完美适配二沉池的工艺流程。

5.4.4 投加点设在深度处理单元，主要是进一步去除生物处理后仍残留的微量污染物，确保出水水质稳定或满足更严格的标准。

5.4.5 对于铁盐和铝盐，根据化学反应式可知，去除 1 摩尔的磷理论上至少需要 1 摩尔的铁盐或者铝盐：



在化学絮凝除磷的实际应用中，化学反应并不是 100% 有效进行的。一方面，反应体系中的 OH⁻ 会与金属离子反应，生成相应的氢氧化物。另一方面，污水成分复杂，含有大量的阴离子还能和铝和铁离子发生反应。因此，化学除磷药剂在实际应用中需要超量投加，以保证出水总磷标准。美国《营养物控制设计手册》中铝盐与总磷的摩尔比与总磷的去除率相关：当去除率为 75%、85% 和 95% 时，摩尔比分别为 1.38:1、1.72:1 和 2.3:1，铁盐与总磷的摩尔比为 1:1，但是需要投加额外的 10mg/L 以形成氢氧化物。在我国，根据经验投加铝盐或铁盐时铁盐或铝盐的摩尔浓度与磷的摩尔浓度的比值宜为 1.5-3.0。

5.4.8 水温高时，粘度降低，布朗运动加快，碰撞的机会增多，化学反应速度加快，缩短混凝沉淀时间。反之，温度低导致混凝剂水解反应变慢，水解时间增加，混凝的化学反应速度变缓，处理的时间延长。

5.4.9 本条是对反应的 pH 进行规定：

1 pH < 5 或 pH > 8 时，铝盐易水解为 Al(OH)₃ 胶体或 AlO₂⁻ 离子，降低除磷效果。

2 Fe^{2+} 需在在弱碱性条件下氧化成 Fe^{3+} ，再与磷酸盐发生水解沉淀反应。

3 pH 为酸性，过多的氢磷酸根 (H_2PO_4^-)，与 Ca^{2+} 的结合能力弱，难以生成稳定沉淀； pH 为弱碱性，磷酸盐以 HPO_4^{2-} 为主，可与 Ca^{2+} 反应生成 CaHPO_4 ，但易溶解，降低除磷效率；

4 pH 在酸性环境时，有机絮凝剂的分子结构与吸附活性受到抑制； pH 在碱性环境中，有机絮凝剂发生的电荷形态反转以及高分子链碱解断裂。

6 结晶

6.1 一般规定

6.1.1 结晶法除磷在进水磷酸盐浓度较高时，才能实现高效、稳定、经济的运行。浓度过低会导致反应缓慢、晶体细小难分离、效率下降、成本升高，失去应用价值。城镇污水处理厂进水磷酸盐浓度通常低于 5mg/L，不宜直接使用结晶法除磷。生物处理单元厌氧池富磷上清液、回流污泥释磷上清液中磷酸盐浓度可达到 10mg/L 以上，可使用结晶法进行磷回收。

6.1.4 研究发现，化学协同除磷污水处理厂过量化学药剂，或污泥脱水液中过量脱水药剂进入生物单元起始端的预缺氧池或厌氧池后，与污水处理厂进水磷酸盐以及厌氧释磷产生的磷酸盐发生反应，形成稳定的化学磷沉淀，导致好氧池没有足够的磷酸盐用于生物吸磷，从而一定程度上抑制了三羧酸循环过程，直接影响厌氧释磷和好氧吸磷效果，长此以往导致生物系统除磷功能丧失。厌氧池及回流污泥无法产生高浓度磷酸盐污水，将影响结晶法除磷工艺的正常运行。

6.1.5 结晶法除磷后污水中磷酸盐超过 0.5mg/L，且不稳定，难以满足出水排放标准，需进一步去除。

6.2 技术参数

6.2.2 羟基磷灰石法在初始磷酸盐浓度高于 10mg/L 时，除磷效率可达到 90%以上；鸟粪石法在初始磷浓度大于 50mg/L 时去除率可达 90%以上，当初始磷浓度低于 20mg/L 时去除率降低至 50%以下，且需要大幅提高氮磷比，经济性较差。工程调研发现，城镇污水处理厂在进水碳源充足或投加外加碳源的情况下，厌氧池经过充分释磷后磷酸盐浓度可达到 10mg/L-20mg/L，适用于羟基磷灰石法；回流污泥释磷后磷酸盐浓度可高达 50mg/L 以上，鸟粪石法或羟基磷灰石法均对其有良好的去除作用。

6.2.3 本条是对富磷清液制备单元第 1 款和第 3 款进一步说明：

1 编制团队研究表明，在碳源充足的条件下，单纯生物除磷工艺回流污泥最大污泥释磷速率发生在初始 1h，可完成总释磷量的 50%，之后释磷速率逐渐

降低，释磷 2h 时，可完成总释磷量的 86%，上清液磷酸盐浓度大于 50mg/L。污泥含磷量低时，可适当延长释磷时间。

3 厌氧生物释磷后的污泥胞内富含碳能源存贮物，在缺氧环境下反硝化聚磷菌分解聚羟基烷酸酯（PHA），提供微生物生长代谢的能量，并以硝酸盐为电子受体进行过量吸磷和反硝化脱氮，实现“一碳两用”；在好氧条件下，PHA 易被氧化，造成浪费。

6.2.6 本条是对鸟粪石结晶除磷反应器设计第 8 款进一步说明：

8 编制团队研究表明，反应器进水磷酸盐浓度高于 50mg/L，磷酸盐去除率可达到 80%以上，同时鸟粪石纯度可达 98.5%以上。

6.3 运行维护

6.3.1 根据生物除磷与结晶法除磷耦合系统磷平衡核算，当结晶法除磷量过高时，会影响生物除磷效能，甚至抑制活性污泥活性。

7 吸附

7.2 吸附剂

7.2.4 本条是对吸附剂的改性方法进一步说明：

2 酸处理可以去除吸附剂表面杂质，增加表面酸性官能团；碱处理可以改变吸附剂的孔结构，增加比表面积，引入一些碱性官能团。

5 热处理可以提高吸附剂的结晶度和稳定性，增加孔容和比表面积。

6 磁性材料改性可提高吸附剂分离、回收效率。

7.3 技术参数

7.3.4 吸附温度对吸附性能也有一定影响。一般来说，温度升高有利于提高吸附速率，但可能降低吸附平衡容量。在实际工程中，应根据污水的实际温度情况，结合吸附剂的性能特点，综合考虑吸附效果和运行成本。

8 离子交换

8.1 一般规定

8.1.1 离子交换技术具有高效、稳定、灵活的特点，当生物除磷工艺难以稳定达到出水磷浓度限值时，针对痕量磷酸盐深度处理可考虑采用离子交换除磷作为补充或强化手段，确保出水磷浓度符合现行国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918 一级 A 标准，即稳定在 0.5mg/L 以下。

8.1.2 污水磷的形态、浓度、共存离子种类及浓度等水质特性、水量变化规律、处理后水质目标以及场地条件等因素会影响离子交换除磷效果。城镇污水中磷形态主要有正磷酸盐、聚磷酸盐和有机磷等，正磷酸盐可直接被强碱性阴离子树脂吸附。综合考虑确定离子交换剂种类、交换设备选型、工艺流程布置和运行控制参数，设计阶段需结合中试验证吸附容量及再生效率，确保工艺的可靠性、高效性和经济性。

1 丙烯酸系树脂其骨架对硫酸根离子的亲和力相对较低，在高硫酸盐环境下，丙烯酸系树脂能更有效地为磷酸根离子让出位点，表现出更好的选择性；

2 SS 浓度过高会直接堵塞树脂颗粒间的孔隙以及树脂自身的微孔，降低树脂的交换容量和性能，前置过滤可以有效去除绝大多数悬浮物；

3 大分子有机物会堵塞树脂的孔道，被树脂骨架牢牢吸附，常规的再生方法很难将其洗脱。这些被吸附的有机物会永久占据交换位点，导致树脂的工作交换容量不可逆地下降。活性炭能高效吸附水中的溶解性有机物，是去除 COD 的可靠手段，生物膜法利用微生物的降解作用，将有机物分解为二氧化碳和水，该方法特别适用于可生化性较好的废水，能有效降低 COD 和 BOD。

8.1.3 实时监测进出水磷浓度、竞争离子浓度、pH 等可评估系统除磷的稳定性和高效性。树脂吸附磷的容量有限，通过监测累计处理水量或出水磷浓度是否超标可判断树脂失效，触发再生程序。运行流速在 20m/h-30m/h 影响接触时间，流速 >30m/h 会降低吸附率，过低则易短流。根据预设程序和反馈数据自动调整运行参数，可实现系统的自动化、智能化运行，减少人工干预，降低运行成本。

8.1.4 本条是对离子交换剂和再生废液的处理处置进一步说明：

1 废弃离子交换剂参考《国家危险废物名录》或按照家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法予以认定。经鉴别属于危险废物的，须交由有资质的危险废物经营许可证单位处理处置。可以排除存在危险特性的工艺过程产生的废弃离子交换树脂按一般固体废物管理。

2 离子交换树脂再生废水液一般采用化学方法处理，使色素和其他有机物沉淀，除去杂质后再循环使用；用颗粒活性炭吸附，用次氯酸钠、次氯酸钙、氯气或臭氧将它氧化，用超过滤或反渗透法分离它的有机物，或用粉状树脂吸附，以及用微生物将其有色物降解，取得较好效果。

8.2 离子交换剂

8.2.2 本条对不同类型离子交换剂进行说明：

1 强碱性阴离子交换树脂含有强碱性基团，如季胺基- NR_3OH （R 为碳氢基团），能在水中离解出 OH^- 而呈强碱性，其正电基团能与溶液中的阴离子吸附结合，从而产生阴离子交换作用、去除阴离子的功效。可在 pH 在 1.0-14.0 的宽范围内工作不受 pH 限制，适合极端酸碱条件，其物理化学性能更稳定、耐渗透应力、耐磨损能力及抗污染能力强，能交换吸附尺寸较大的离子和分子。

2 弱碱性阴离子交换树脂弱碱性阴离子交换树脂是以伯胺基（ $-\text{NH}_2$ ）、仲胺基（ $-\text{NHR}$ ）或叔胺基（ $-\text{NR}_2$ ）为交换基团的离子交换树脂。弱碱性基团在水中解离程度很小，仅在中性及酸性的介质中才显示离子交换功能，即交换容量受溶液 pH 的影响较大，pH 愈低，交换能力愈大，具有交换容量高、抗有机污染性能优异等优点。

3 特种阴离子交换树脂是一类通过特殊功能基团修饰或结构设计，对磷酸盐、硝酸盐、氟化物等特定污染物具有高选择性吸附能力的离子交换树脂。针对城镇含磷污水中磷酸盐的选择性吸附，其核心特点是通过 I 型季胺基、稀有金属活性基团等特殊官能团修饰实现高精度除磷，包括正磷、次磷、有机磷等多种形态，出水浓度可达到 0.1mg/L。

8.3 技术参数

8.3.1 离子交换柱（器）是容纳树脂并提供离子交换反应的场所，材质通常为耐腐蚀的有机玻璃、不锈钢或塑料，可分为固定床和连续床两大基础类型，浮动

床和流动床等衍生类型针对特定需求优化。树脂再生、进出料、水质监测等需要配置辅助设备。

8.3.2 本条是对不同离子交换柱（器）类型进一步说明：

1 固定床作为离子交换设备常用的一种构造和运行方式，其工作原理是利用离子交换树脂对水流进行处理，在处理过程中，水流通过一个装有离子交换树脂的容器（即交换柱），树脂层固定不动，水流自上而下或自下而上流过树脂层，水中的离子与树脂上的离子发生交换，从而达到净化水质的目的。固定床中交换与再生交替进行，结构简单，操作方便，但效率较低再生剂耗量大，可用于处理水量相对较小或波动不大的水处理。

2 移动床内的离子交换树脂在装置内呈周期性移动，失效树脂在移动过程中经交换、再生、清洗恢复交换能力，定期定量地补充至交换器出水端，交换器除在补充树脂的极短时间内停止供水外，基本上是连续供水。树脂利用率高于固定床，但设备结构较复杂，操作控制要求高，树脂在移动中易产生磨损和破碎，适用于水质要求较高、水量较大的情况。

3 浮动床运行时被处理的污水自下而上地通过交换树脂层时，因向上的水流作用，交换剂层被托起成悬浮状态，再生时再生液自上而下通过交换剂层。浮动床对进水浊度要求更严格，树脂层容易因扰动产生乱层，影响出水效果，适用于再生剂用量少，适合水质稳定的情况。

4 流动床内的树脂在装置内连续循环流动，失效树脂在流动过程中得到再生、清洗而恢复交换能力，连续定量地补充至交换器出水端，从而保证交换器不间断地供水。流动床树脂利用率高，可以实现连续操作，但投资和维护成本高，适用于处理大规模污水且对水质要求严格的场合。

8.3.3 本条是参考现行行业标准《离子交换技术处理重金属废水技术规范》HG/T 5169 的规定。

8.3.4 本条是对离子交换系统辅助设备进一步说明：

1 树脂饱和后，通过再生剂进行再生，恢复交换能力，包括再生液储罐、泵、阀门及冲洗装置；

2 进出料通过管道系统输送、收集，包括管道、阀门、泵等，确保待处理液体均匀分布并通过树脂层；

3 监测与控制设备用于监测进出水磷浓度、压力、pH 等水质指标、控制流速及再生周期，实现智能化运行。

8.3.5 本条是参考现行国家标准《工业用水软化除盐设计规范》GB/T 50109、现行行业标准《水污染治理工程技术导则》HJ 2015 和《离子交换技术处理重金属废水技术规范》HG/T 5169 的规定。

8.3.6 本条是参考现行国家标准《工业用水软化除盐设计规范》GB/T 50109 和电子工业废水处理工程设计标准》GB 51441 以及现行行业标准《离子交换技术处理重金属废水技术规范》HG/T 5169 的规定。

10 生物除磷

10.1 一般规定

10.1.2 生物除磷通过厌氧状态和好氧状态在时间或空间上的交替循环，使生物处理系统中的聚磷菌群体能够在快速生物降解有机物的竞争中取得明显优势，在活性污泥生物体中聚集和存储大量的聚合磷酸盐，然后通过排出高含磷量剩余活性污泥的方式，获得低含磷量的净化处理出水。

10.2 工艺选择

10.2.2 A/O 系列和氧化沟工艺均是在空间序上形成厌氧和好氧的交替组合，SBR 系列工艺是在时间序上形成厌氧和好氧的交替组合。聚磷菌在厌氧段进行磷的释放，在好氧段超量吸磷，从而实现进水磷的去除。

10.2.4 厌氧段硝酸盐浓度高于 1.5mg/L 时，反硝化菌将与聚磷菌同步紧张快速碳源。单位快速生物降解 COD 所形成的生物除磷能力约为 0.10mgP/mgCOD ，而单位硝酸盐氮可导致的快速生物降解 COD 损失量约为 $6\text{mgCOD/mgNO}_3^- \cdot \text{N}$ 。城镇污水处理厂污泥回流比例约为 50%-100%，当进入厌氧池回流污泥硝酸盐高于 5mg/L 时，厌氧池前段硝酸盐浓度将大于 1.5mg/L ，影响厌氧释磷效果。通过在厌氧区前设置预缺氧区，利用内源或 15%左右的进水将回流污泥中的硝酸盐浓度降低至 1.5mg/L 以下，可保障厌氧释磷效果，强化生物除磷能力。

10.2.5 反硝化除磷主要是反硝化聚磷菌利用硝态氮作为最终电子受体，利用厌氧释磷过程存储的 PHA 为电子供体，进行反硝化生物脱氮的同时完成磷酸盐的吸收过程。既可以解决反硝化脱氮对碳源的需求问题，也能解决好氧吸磷过程对氧的需求问题，实现“一碳多用”和供氧节能。

10.2.6 为保证硝化效果，防止二沉池翻泥，城镇污水处理厂好氧段通常曝气量较高，内回流混合液 DO 超过 2.5mg/L ，部分 MBR、悬浮填料工艺甚至高达 6mg/L 以上。基于反硝化吸磷的基本理论和缺氧池的设计反应条件，当缺氧池中同时存在硝态氮和溶解氧时，专性好氧除磷菌群在与反硝化除磷菌群竞争中容易占据优势，好氧磷吸收成为主反应。混合液回流点前设消氧区，可降低回流混合液中溶解氧对缺氧区反硝化除磷的影响。

10.3 技术参数

10.3.3 本条是对厌氧区设计进一步说明：

2 将快速碳源优先投加于厌氧池，可强化厌氧释磷效果，增加反硝化除磷过程所需胞内快速碳源 PHA，实现硝态氮和磷酸盐同步高效去除。

10.3.4 当缺氧池中存在小分子有机物时，反硝化菌群及厌氧释磷菌群均可能成为优势菌群，将在一定程度上抑制反硝化除磷菌群功能的发挥。实际运行中应控制进水或外加碳源不进入反硝化除磷区。

10.3.9 本条是对碳源高效利用进行说明：

2 传统初沉池对 COD_{Cr} 的去除率为 25% 左右，初沉发酵池通过短水力停留时间控制，可降低初沉过程对进水中 COD_{Cr} 的消耗，研究表明初沉发酵池对进水 COD_{Cr} 的去除率约 15%；初沉发酵池通过长污泥停留时间、机械搅拌和高泥位控制，强化水力剪切作用，将悬浮颗粒外层包裹的有机物剥离的同时进行初步水解，研究表明在适当的工艺运行参数下，初沉发酵池出水 $\text{SCOD}_{\text{Cr}}/\text{COD}_{\text{Cr}}$ 可提高约 10%，能有效改善出水碳源结构，提高碳源利用效率。

4 污水处理过程跌水复氧点主要为预处理单元进水泵房出水口、沉砂池出口、细格栅出口和汇水井，生物处理单元内回流混合液及回流污泥回流点，深度处理单元反硝化滤池进水口，每处跌水前后有 2mg/L-3mg/L 甚至更高的 DO 增量，并在后续的管渠或构筑物内快速消耗相应当量的优质进水碳源，导致全流程 10mg/L-20mg/L 的碳源损耗。