

广东省城镇生活污水处理设施 提标建设技术指引

广东省住房和城乡建设厅

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

2018年6月

目 录

前言	1
第一章 总则	2
1.1 编制目的.....	2
1.2 编制依据.....	2
1.3 适用范围.....	2
1.4 指导思想.....	2
1.5 技术原则.....	3
第二章 术语	4
第三章 技术路线	6
3.1 基本要求.....	6
3.2 提标改造工艺技术路线.....	7
3.3 新建扩建工艺技术路线.....	9
3.4 运行管理及措施.....	12
第四章 预处理技术	14
4.1 典型工艺单元选择.....	14
4.2 调节、格栅、沉砂.....	14
4.3 初沉.....	15
4.4 厌氧水解.....	16
第五章 生物除磷脱氮技术	17
5.1 工艺选择与技术措施.....	17
5.2 A/A/O 系列工艺	19
5.3 氧化沟系列工艺.....	23
5.4 SBR 系列工艺	25
5.5 MBR 工艺.....	26

5.6 粉末活性炭工艺.....	27
5.7 碳源投加.....	28
第六章 深度处理技术	29
6.1 典型工艺单元选择.....	29
6.2 混凝.....	29
6.3 沉淀.....	30
6.4 过滤.....	32
6.5 曝气生物滤池.....	35
6.6 反硝化滤池.....	36
6.7 臭氧氧化.....	37
附录 A 广东省城镇污水处理厂运行现状	38
附录 B 水质调查分析与工程模拟试验	50
附录 C 广东省城镇污水处理厂设计进水水质建议	52
附录 D 一级 A 提标建设参考标准	53
附录 E 城镇污水处理厂一级 A 提标建设典型案例	55

前言

为更好指导我省城镇污水处理厂一级 A 提标建设，确保达到《水污染防治行动计划》要求，省住房城乡建设厅组织中国市政工程华北设计研究总院有限公司在对我省污水处理厂充分调研的基础上，并结合全国典型污水处理厂提标建设经验，编制完成《广东省城镇生活污水处理设施提标建设技术指引》，供各地城镇污水处理厂提标建设工程参考使用。

本指引仅涉及城镇污水处理厂中污水处理部分，不包括污泥处理内容，本指引包含六章内容，总则、术语、技术路线、预处理技术、生物除磷脱氮技术、深度处理技术；五个附录，广东省城镇污水处理运行现状、水质调查分析与工程模拟试验、广东省城镇污水处理厂设计进水水质建议、一级 A 提标建设参考标准、城镇污水处理厂一级 A 提标建设典型案例。可作为我省城镇污水处理厂提标建设的技术性指导文件，也可为我省村镇污水处理工程提标建设提供参考。可供各地污水处理行政主管部门、设计单位、污水处理厂运行管理单位参考使用。

本指引首次发布，将根据我省一级 A 提标改造的实际发展情况适时修订，在实施过程中有完善和补充建议，请与省住房城乡建设厅联系。

本指引由中国市政工程华北设计研究总院有限公司编制，省住房城乡建设厅发布，并由省住房城乡建设厅解释。

第一章 总则

1.1 编制目的

围绕《水污染防治行动计划》对污水处理工程建设和技术改造的技术要求，加强对广东省一级 A 及更高排放标准城镇污水处理工艺技术方案确定与设备产品选型的技术指导，有效提升城镇污水处理工艺设计和运行管理水平，提高城镇污水处理工程设计、建设和设施运行效能。

1.2 编制依据

遵循并充分借鉴国家现行城镇污水处理技术规范、标准和政策文件要求，结合全国城镇污水处理信息系统运行数据分析结果，吸纳国内外相关领域技术成果和工程实践经验，编制基于广东省城镇污水处理厂进水水质和环境条件特征的城镇污水处理厂一级 A 提标建设技术指引。

本技术指引编制采用的主要规范、标准和政策文件如下：

- (1)《城镇污水处理厂污染物排放标准》 GB18918-2002
- (2)《室外排水设计规范》(2014 年版) GB50014-2006
- (3)《城镇给水排水技术规范》 GB50788-2012
- (4)《广东省水污染防治行动计划实施方案》(2015 年 12 月 31 日)

1.3 适用范围

适用于广东省一级 A 及更高排放标准城镇污水处理厂提标建设，指导高排放标准城镇污水处理厂技术方案选择与设备配套，对一级 B 或二级排放标准城镇污水处理厂设计、建设和运行也有指导意义。

村庄、集镇及城镇分散式小规模污水处理设施的工艺技术选择、设备产品选型等，也可参照本指引执行。

1.4 指导思想

- (1) 全面论证，因地制宜

全面调研和分析，进行多方案技术经济比较；充分考虑当地的社会经济和资源环境条件。

- (2) 技术先进，稳妥可靠

总结科研成果和生产实践经验，积极采用经过鉴定的、行之有效的新技术、新工艺、新材料、新设备；进水水质较为特殊或复杂时，应进行现场模拟试验，根据试验结果选择确实有效技术方案。

（3）经济适用，节能省地

注重建设和运行的经济性，优先采用低能耗、高可靠性的技术方案及设备，优化设计，节省投资与占地，降低运行费用。

（4）尾水利用，低碳生态

注重城镇污水处理厂达标尾水的景观环境利用，确保城市河道生态基流，促进城镇水系统的健康循环、水环境质量改善和水生态系统修复恢复。

1.5 技术原则

（1）先源头控制，后强化处理

应控制雨水及地下水、泥砂无机物、有毒有害污染物及难生物降解有机物进入污水管网系统，并强化预处理，控制悬浮性无机固体和漂浮物进入生物系统。

（2）先优化运行，后工程措施

应优先考虑优化运行。采取优化运行措施之后，出水水质指标仍然不能满足要求时，再施行工程改造措施。

（3）先内部碳源，后外加碳源

进水碳源不足时，应首先挖掘内部碳源。当内部碳源开发利用之后，出水总氮仍然不能满足要求时，再采取补充外加碳源措施。

（4）先生物除磷，后化学除磷

应充分发挥生物除磷功能。当采用生物除磷之后，出水总磷仍然不能满足要求时，可采用化学除磷辅助方法。

第二章 术语

(1) 提标改造

由于排放标准提高，采取非工程或工程措施对城镇污水处理厂进行改造，使其出水水质稳定达到新的排放标准的過程。非工程措施是指不需要经过基本建设程序审批的技术措施。

(2) 强化生物处理

进一步提高生物处理去除污水中氮、磷和有机污染物效果的技术措施。

(3) 深度处理

进一步去除二级处理出水中污染物质的过程。

(4) 厌氧水解

在厌氧条件下，利用兼性厌氧菌的作用，将大分子有机物和不溶性有机物分解为溶解性小分子有机物，提高污水可生化性的过程。

(5) 内部碳源

污水和污泥中的碳源。

(6) 外加碳源

外部投加的碳源，例如，甲醇、乙酸、乙酸钠、酿造废水、食品加工废水等。

(7) 悬浮填料

在生物处理池中处于悬浮或漂浮状态用于微生物附着生长的生物载体。

(8) 化学除磷

投加化学药剂，与污水中的磷结合，形成不溶性固体沉淀物，去除污水中磷的过程。

(9) 直接过滤

生物处理出水直接通过滤池过滤去除污染物的技术。

(10) 接触过滤

生物处理出水加药混合后通过滤池过滤去除污染物的技术。

(11) 微絮凝过滤

生物处理出水加药混合后，先经微絮凝池初步形成絮体，再通过滤池过滤去除污染物的技术。

(12) 转盘过滤器

通过多个垂直安装于中央进水管上可旋转的平行圆盘,过滤去除生物处理出水中污染物的机械过滤设备。

(13) 滤布过滤器

通过多个垂直安装于水箱内可旋转的平行圆盘,过滤去除生物处理出水中污染物的机械过滤设备。

(14) 膜过滤器

通过渗透膜过滤进一步去除生物处理出水中污染物的设备。

(15) 反硝化滤池

在缺氧和外加碳源条件下,通过滤池滤料上附着的异养细菌将污水中硝态氮异化还原为氮气的生物滤池。

(16) 磁混凝澄清池

通过在混凝单元加入磁粉,提高絮体沉淀效率,为一种污水混凝沉淀强化技术。

第三章 技术路线

3.1 基本要求

(1) 工作内容

A. 提标改造工作至少应包括以下内容：论证必要性、分析水质水量变化特性、分析达标影响因素、提出技术措施、确定技术方案、工程设计、施工建设、运转调试和运行管理。

B. 新建（扩建）工作至少应包括以下内容：分析水质水量变化特性、确定处理方案、工程设计、施工建设、运转调试和运行管理。

(2) 工作流程

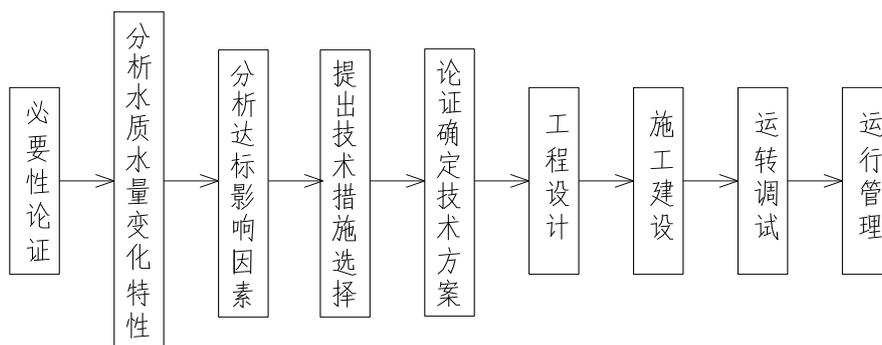


图1 提标改造工作流程图

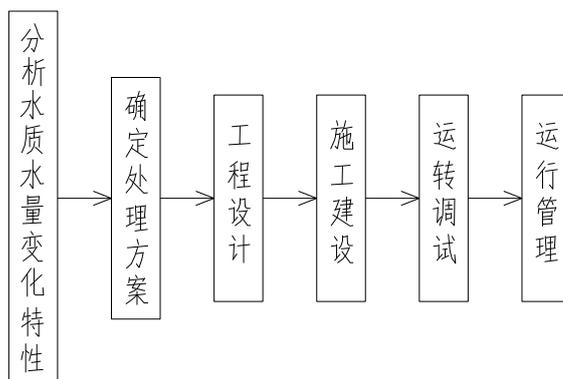


图2 新建（扩建）工作流程图

A. 当实际处理水量水质与设计水量水质偏差较大时，应先核实污水处理厂

服务范围内的污水产生量、水质偏差原因和处理构筑物的能力，确定采取工程改造措施进行提标改造的必要性。

B. 在进水水质较为特殊或复杂时，应充分论证工艺流程的可行性和运行调整的灵活性，并应开展现场试验研究。

3.2 提标改造工艺技术路线

(1) 分析达标影响因素

对进水水质中的 SCOD/COD、BOD₅/COD、BOD₅/TN、SS/BOD₅、TN 中可氨化和溶解性不可氨化有机氮成分、水温等水质特性进行调研测试，结合进水水质特性、出水水质与标准值的差距，分析影响一级标准 A 标准稳定达标的主要因素，为提出具体提标改造技术措施提供可靠依据。

(2) 提出技术措施

根据影响稳定达标的主要因素，优先考虑采取非工程措施（例如：加强源头控制、改变运行模式、优化运行技术、投加化学药剂等）。

采取上述措施后仍然不能满足要求或运行成本太高时，可参照表 1，提出有针对性的工程技术措施。

表1 技术措施

达标项目	措施类型	具体技术措施
NH ₃ -N、 TN、COD、 BOD ₅	强化预处理	<p>A. 设置初沉或初沉发酵设施</p> <p>进水SS浓度较高或SS中无机物比例较高的城镇污水处理厂，宜保留、改造或增设初沉池或初沉发酵池等，并设置超越管线。</p> <p>B. 设置厌氧水解设施</p> <p>进水BOD₅/COD比值偏低（BOD₅/COD<0.3），或主要受印染、化工和化学制药废水影响时，宜设置厌氧水解池。</p> <p>C. 设置调节池或酸碱调控设施</p> <p>接纳工业废水的污水处理厂，宜合理设置调节池或酸碱应急调控设施。</p>
		<p>A. 优化运行</p> <p>当现有污水处理系统的设备能力、池容利用、操作与控制参数存在一定的调控空间（余量）时，应优先采用优化运行技术，提高系统的除磷脱氮能力。</p>

<p>NH₃-N、 TN、TP、 COD、 BOD₅</p>	<p>强化生物 处理</p>	<p>B. 投加填料</p> <p>当采用优化运行技术后，原有生物池处理能力仍然不能满足出水水质要求、且新增池容困难时，可在生物好氧池中投加悬浮填料，提高系统的硝化稳定性和相关的反硝化能力。</p> <p>C. 增设硝化/反硝化设施</p> <p>当原有生物处理段采用强化措施后NH₃-N和TN仍然不能达标时，可在原生物处理段后增加曝气生物滤池进一步去除氨氮，增加反硝化滤池进一步去除硝态氮。增加反硝化滤池通常需要补充外加碳源。</p> <p>D. 开发内部碳源</p> <p>反硝化碳源不足时，可优先采取以下措施：将原有工艺改造为带回流污泥反硝化的生物除磷脱氮工艺及其变型工艺；增设初沉污泥厌氧发酵池；当污泥中有机成分含量较高时，可利用超声波对剩余污泥进行破解。</p> <p>E. 投加外加碳源</p> <p>a. 内部碳源开发利用后仍然不能满足碳源需求时，可投加以下外加碳源：甲醇、乙酸、乙酸盐等低分子及易降解有机物。</p> <p>b. 应因地制宜地利用廉价碳源，例如，酒业废水、食品加工废水、糖蜜废水等。</p>
<p>TP</p>	<p>同步化学 除磷</p>	<p>当生物处理出水TP浓度可以稳定达到1.0mg/L左右及以内时，可采用同步化学除磷方式。</p>
<p>SS、TP</p>	<p>深度处理</p>	<p>A. 设置混凝+沉淀+过滤组合单元</p> <p>当二级强化处理出水的NH₃-N及TN已经稳定达到一级标准A标准，BOD₅、COD已经稳定达到一级标准B标准，SS不稳定，且需要化学除磷时，宜采用混凝+沉淀+过滤工艺流程。</p> <p>B. 设置絮凝过滤/微絮凝过滤/直接过滤单元</p> <p>当二级强化处理出水水质接近一级标准A标准，但还不能稳定达标时，可采用絮凝过滤（混凝+过滤）、微絮凝（混合+过滤）或直接过滤等过滤单元。</p>
<p>COD、 色度</p>	<p>深度处理</p>	<p>当以上措施仍不能实现稳定达标时，可采取活性炭吸附或化学氧化措施。</p> <p>A. 特殊情况下（例如：印染废水比例较高时），可采用投加粉末活性炭作为应急或补充措施。</p>

		B. 当出水需要脱色处理时，可采取臭氧氧化措施。
--	--	--------------------------

(3) 确定技术路线

根据上述各项技术措施，参照表 2，提出若干适宜的提标改造技术路线，结合处理效果稳定性、工艺控制灵活性、工程实施可行性、维护管理方便性、投资运行经济性和系统优化整体性，经技术经济比较后确定。

表2 城镇污水处理厂提标改造工艺技术路线及单元组合示例

管网	预处理	生物脱氮除磷处理		深度处理
前端雨污水管网的完善与优化调度	强化预处理	生物除磷脱氮系统的运行优化及技术改造，可采用活性污泥法或生物膜法及组合	外加碳源	深度处理 ^①
			化学协同除磷	
			生物池的池容扩增	
			好氧池内填料投加	
			好氧池填料投加+化学协同除磷	
			曝气生物滤池	
			反硝化滤池	
	厌氧预处理 ^②		MBR膜池	
		粉末活性炭投加 ^②		

①具体技术措施取决于最终出水水质要求； ②主要适用于含较高比例难降解工业废水的污水处理厂。

3.3 新建扩建工艺技术路线

(1) 分析水量水质特性

对进水水量、水质指标进行预测分析，并对其中的 SCOD/COD、BOD₅/COD、BOD₅/TN、SS/BOD₅、TN 中可氨化和溶解性不可氨化有机氮成分、水温等水质特性进行调查分析。

(2) 确定工艺流程

在分析水质水量特性的基础上，结合处理效果稳定性、工艺控制灵活性、工程实施可行性、维护管理方便性、投资运行经济性、系统优化整体性及出水水质标准，参照表 3 和表 4，提出若干适宜的污水处理工艺流程，经技术经济比较后，确定污水处理工艺流程及设计参数。

表3 工艺单元设置

主要去除对象	工艺单元	工艺单元设置
SS	预处理	<p>功能要求： 预处理应最大程度地去除污水中的惰性杂质，调节水质水量，保留内部碳源，提高可生化性。</p> <p>A. 格栅（格网）</p> <p>根据污水收集系统格栅设置情况和后续工艺处理要求，合理确定粗、中、细格栅的配置及栅距。采用MBR工艺时，须增设超细格栅（格网）；采用好氧池投加填料或出水机械过滤时，应设置细格栅（格网）或超细格栅（格网）。</p> <p>B. 沉砂</p> <p>根据进水水量水质变化特征，合理选择沉砂池类型及设计参数，确保除砂效果。</p> <p>C. 水质水量调节</p> <p>进水中工业废水比例较高的或规模较小的城镇污水处理厂应设置调节池；接纳高酸碱工业废水的城镇污水处理厂，应设置酸碱应急调节设施。</p> <p>D. 初沉或初沉发酵</p> <p>进水SS浓度较高或SS中无机物比例较高的城镇污水处理厂，宜设置初沉池或初沉发酵池等，并设置超越管线。</p> <p>E. 厌氧水解</p> <p>受印染、化工和化学制药等工业废水影响，进水BOD₅/COD比值偏低（小于0.3）时，宜设置厌氧水解池。</p>
BOD ₅ 、 COD、 NH ₃ -N、 TN、TP	生物处理	<p>功能要求： 生物处理应最大程度地去除有机物、NH₃-N、TN、TP。必要时，再增加化学除磷。</p> <p>工艺选择：</p> <p>A. 优先选用工艺</p> <p>优先选用成熟的、具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的污水处理工艺。例如，改进的A/A/O系列工艺、氧化沟系列工艺和SBR系列工艺。</p> <p>B. 有条件选用工艺</p> <p>a. 当用地受限时，可以选用好氧池投加悬浮填料强化硝化功能的除磷脱氮工艺；当规模小于等于1万m³/d时，可采用硅藻精土工艺。</p> <p>b. 当印染废水比例大于50%或溶解性难降解有机物含量高，污水可生化性差时，可采用粉末活性炭工艺，强化COD的去除。</p> <p>C. 审慎选用工艺</p> <p>a. 当用地受限、出水水质要求高或有再生利用要求、经济条件允许时，可采用MBR工艺。</p>

		<p>b. 国内较少应用的新工艺，应经过中试以上的试验验证，并取得可靠设计参数后，方可工程化应用。</p> <p>碳源利用：</p> <p>A. 内部碳源</p> <p>a. 尽可能选用有利于内部碳源充分利用的污水处理工艺流程，例如，带回流污泥反硝化的生物除磷脱氮（改良A/A/O）工艺及其变型工艺。</p> <p>b. 当碳源仍然不足时，可采取下列措施开发内部碳源：设置初沉污泥发酵池，设置厌氧水解池，利用超声波破解剩余污泥（污泥中有机成分含量较高时）等。</p> <p>B. 外加碳源</p> <p>a. 内部碳源开发利用后，反硝化碳源仍然不足时，应适当补充外加碳源，强化反硝化效果。常用的外加碳源有：甲醇、乙酸、乙酸盐等。</p> <p>b. 应因地制宜地利用廉价碳源，例如，酒业废水、食品加工废水、糖蜜废水等。</p>
TP	同步化学除磷	当生物处理出水TP浓度小于1.0mg/L时，可采用同步化学除磷方式。
SS、TP	深度处理	<p>功能要求：深度处理应以过滤为核心单元，混凝沉淀为强化手段，通过投加混凝剂完成SS、TP等污染物的去除。</p> <p>A. 混凝+沉淀+过滤</p> <p>在生物处理后通常需设置混凝+沉淀+过滤深度处理组合单元。</p> <p>B. 微絮凝过滤、接触过滤、直接过滤</p> <p>当生物处理出水水质接近一级标准A标准，但不能稳定达标时，可设置微絮凝过滤（混凝+过滤）、接触过滤（混合+过滤）、直接过滤等组合单元。</p>
COD、色度	深度处理	<p>当以上措施仍不能实现COD、色度稳定达标时，可采取活性炭吸附或化学氧化措施。</p> <p>A. 溶解性难生物降解COD的去除，可投加粉末活性炭，作为补充或应急措施。</p> <p>B. 需要脱色处理时，可采用臭氧氧化等技术措施。</p>

表4 城镇污水处理厂新建扩建工艺技术路线及单元组合示例

管网	预处理	生物脱氮除磷处理		深度处理
前端雨污水管网的完善与优化调度	强化预处理	强化除磷脱氮/综合集成工艺系列		深度处理
		改良A ² /O工艺系列	化学协同除磷 投加载体填料	
		改良氧化沟工艺系列		
		改良SBR工艺系列 ^①		
		环沟型改良A ² /O工艺系列		
		强化除磷脱氮-MBR膜池系列		
		曝气生物滤池-反硝化滤池		
	其他生物膜法除磷脱氮系列			
厌氧预处理 ^②	强化除磷脱氮或长泥龄工艺	粉末活性炭投加 ^②		

①适用于小规模城镇污水处理厂；②主要适用于以印染、化工废水为主的城镇污水处理厂。

3.4 运行管理及措施

3.4.1 管网系统

(1) 推行雨污分流

合流制收集系统的流量、组分浓度及质量负荷一般变化幅度很大。为确保城镇污水处理厂的正常运行水质要求，城镇新区应采用雨污分流制系统，老城区可适当采用截流式合流制。

(2) 严格执行国家标准

接入城镇污水处理厂的污（废）水水质应严格执行国家及行业标准，不得损害污水管网，不得影响城镇污水处理厂的安全运行及稳定达标，不得影响污泥的处理处置。

(3) 合理确定接管要求

根据城镇污水处理厂安全运行和出水稳定达标的要求，提出适合城镇污水处理厂的接管要求。

A. 严格限制接入含重金属、有毒有害有机物、硝化反应抑制物、含氮杂环化合物（不可氨化有机氮）等污染物的工业废水。

B. 严格控制接入豆制品废水、屠宰废水、垃圾渗滤液等高含氮废水和高浓度油脂。

C. 据调研，化粪池对 COD 有 20%~30% 的削减，对 N、P 无明显去除，会导致城镇污水的 C/N 比进一步失调。进水碳源不足的城镇污水处理厂，宜分析研究服务范围内设置化粪池的合理性；应及时清掏服务范围内的化粪池。

D. 条件允许时，可适当放宽含优质碳源、碳氮比高的有机废水（例如，食品工业中的酿造废水、食品加工废水和糖业废水等）的接管限值。

3.4.2 城镇污水处理厂

(1) 城镇污水处理厂的运行管理是出水稳定达标的关键环节。应根据进水水质、污水水温等条件的变化，权衡出水指标要求，针对可能出现的情形，制定出相应的工艺运行方案和操控措施，以便及时调整。典型操控措施列举如下：

① 当出水 SS 超标时，可调整生物反应过程中的溶解氧浓度和污泥龄，改善污泥的沉降性能；可采取及时反冲洗或化学清洗等措施，提高滤池的过滤效果。

② 当出水 TP 超标时，可调整回流混合液的溶解氧浓度、污泥龄，控制污泥处理段排水中磷的返混负荷，调整化学除磷药剂品种和投加量等。

③ 当出水氨氮超标时，可调整供氧量、污泥负荷、污泥浓度等。

④ 当出水 TN 超标时，先保证硝化效果，在出水氨氮达标情况下，可控制内回流比，或采取多点进水改善碳源分配等措施，必要时投加碳源。

⑤ 当出水 COD 超标时，应先分析进水水质组分，再根据实际情况，可采取源头控制或投加粉末活性炭等措施。

(2) 当好氧区(池)剩余总碱度不足 50mg/L(以碳酸钙计)时，应采取增加碱度的措施;生物处理系统进水 BOD₅与达标所需 TN 去除量的比值小于 5 时，一般需要采取碳源补充措施。

(3) 为改善冬季的硝化与反硝化效果，宜从秋季开始逐步提高污水处理系统的活性污泥总量，增加实际运行泥龄，累积硝化菌和反硝化菌总量。

A. 改变运行模式

当污水水温降至 15℃ 时，应采用冬季运行模式。例如，将 A/A/O 调整为 A/O 脱氮运行模式等。

B. 改变运行参数

a. 泥龄、污泥负荷、水力停留时间：为保障低温条件下的硝化反硝化效果，可采取增加实际运行泥龄、降低污泥负荷、调整水力停留时间分配等措施。

b. 溶解氧浓度：可通过提高好氧区的溶解氧浓度，增强溶解氧对生物絮体的穿透力，维持较高的硝化速率。

c. 混合液回流比：当设备能力允许、且缺氧区尚有反硝化潜力时，可通过提高混合液回流比，增加活性污泥的反硝化菌总量。

C. 投加碳源

当采取优化运行措施后，因碳源不足影响生物反硝化效果时，可适量投加碳源。

D. 投加填料

当采取优化运行措施后，因硝化池容不足影响生物硝化效果时，可在好氧区投加人工悬浮填料或其他类型微生物附着介质。

第四章 预处理技术

4.1 典型工艺单元选择

为保障整个工艺系统的正常稳定运行，并减轻后序处理工段的运行负荷，通常在污水生物处理工艺单元的前端设置相应的预理工段，主要包括机械格栅、沉砂池和初沉池等工艺单元。随着城镇污水处理厂一级 A 标准的实施，由于新工艺和新设备在工程中的应用越来越多，对污水预处理功能提出了更高的要求。预处理单元应最大程度地去除污水中的惰性杂质，调节水质水量，保留内部碳源，提高可生化性。根据相关研究，预处理单元跌水充氧问题会导致部分进水碳源损耗，工程设计和运行中应予以关注。

表5 预处理典型工艺单元选择

工艺单元	主要处理功能及选择因素
粗（中）格栅	栅距 10~25mm，去除较粗漂浮物，控制后续工艺过程的堵塞和浮渣形成
泵房	污水提升，为后续工艺过程提供必要的水头
调节池*	针对工业或小流量污水，为后续工艺过程提供水量水质的均衡调节
细格栅	栅距 1.5~10mm，去除细小漂浮物，控制后续工艺过程的堵塞与浮渣形成
超细格栅*	栅距 0.2-1.5mm，去除细微漂浮物，控制后续工艺过程的堵塞与浮渣形成
沉砂池	去除粒径 0.2 mm 及以上的较粗惰性颗粒，同时尽量去除粒径 0.1~0.2 mm 的细小惰性颗粒，控制后续工艺过程的设备磨损与泥砂沉积
初沉池	去除可沉悬浮固体及小部分不可沉悬浮固体，减低后续工艺过程的运行负荷，减少细微泥砂进入后续生物池，提高活性污泥活性，降低能耗和物耗
初沉发酵池*	针对 SS/BOD ₅ 比值较高的污水，尽量去除 SS 中的无机组分，保留有机组分，促进悬浮固体有机物的溶解与产酸作用，改善碳源质量，开发内碳源
厌氧水解池*	针对含化工类工业废水、BOD ₅ /COD 比值较低的污水，改善污水有机物的可生物降解性能，提高溶解性难生物降解有机物的去除率

* 可供选用的强化技术或替代技术。

4.2 调节、格栅、沉砂

4.2.1 设置条件

(1) 进水中工业废水比例较高，且难生物降解有机物含量较多的城镇污水

处理厂应设调节池。当城镇污水处理厂规模 $\leq 2000\text{m}^3/\text{d}$ 时，应设调节池；规模 $2000 \sim 5000\text{m}^3/\text{d}$ 时，宜设调节池。

(2) 进水必须经过格栅（格网），再进行沉砂处理。

当工艺流程中有深度处理单元、或曝气生物滤池、或反硝化滤池单元时，应增设栅隙为 $1.5 \sim 5\text{mm}$ 的细格栅（格网）。

当采用 MBR 工艺时，生物池前应增设超细格栅（格网）。

当进水纤维悬浮物较多时，宜增设超细格栅（格网）。

4.2.2 技术特征

(1) 调节池的设置应满足调节水质水量的要求。

(2) 格栅分粗格栅、中格栅、细格栅和超细格栅（格网）。

A. 粗格栅和中格栅设置在提升泵房或调节池前。

B. 细格栅、超细格栅设置在沉砂池前。

C. 超细格栅（格网）也可设置在 MBR 生物池前，或膜过滤前端。

(3) 常用的沉砂池有曝气沉砂池、旋流沉砂池和平流沉砂池等，主要去除粒径 $\geq 0.2\text{mm}$ 的砂粒。

4.3 初沉

4.3.1 设置条件

(1) 初沉池

A. 收集系统以合流制和混流制为主，或有建筑废水接入。

B. 进水 SS 浓度在 150mg/L 以上，且进水 SS 中无机组分所占比例较高(55%以上)。

C. 受工业废水影响，进水 SS 中纤维悬浮物较多。

(2) 初沉发酵池

当进水 SS/BOD₅ 或 SS/COD 比值偏高时，为保留碳源，可采用初沉发酵池。

4.3.2 技术特征

(1) 初沉池

去除部分无机悬浮物、有利于后续生物处理的同时，损失部分碳源。

(2) 初沉发酵池

相对于初沉池，缩短水力停留时间，通过改变可溶性组分和快速生物降解有机物所占比例改善碳源质量。

采用污泥低速混合系统，形成高、低密度相对分层的悬浮污泥层，较高密度的污泥位于池底，较低密度的污泥随出水进入后续生物处理系统。

4.4 厌氧水解

4.4.1 设置条件

具备下列条件之一时，宜设厌氧水解池：

- (1) 进水中含有较高比例工业废水，进水 BOD_5/COD 比值小于 0.3。
- (2) 进水中不易生物降解、不易沉降、不易被吸附的 COD 影响出水达标。

4.4.2 技术特征

常用厌氧水解池形式有：折流式、推流搅拌式、上流式。

(1) 上流式污泥床厌氧水解池适合于处理 SS 浓度不太高的污水；折流式、推流搅拌式适合于处理 SS 浓度较高的污水或污泥（初沉污泥）。

(2) 折流式厌氧水解池末端通常设污泥回流系统，以维持较高的污泥浓度和加快水解过程。

(3) 推流搅拌式厌氧水解池内通常设有填料、沉淀池（区）及污泥回流系统；可通过反应与沉淀一体化，不另设独立的沉淀池。

(4) 上流式污泥床厌氧水解池内形成的污泥具有良好的沉淀性能，一般不设沉淀池。

第五章 生物除磷脱氮技术

5.1 工艺选择与技术措施

污水生物处理工艺单元应最大程度地去除污水中的有机物污染物、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 和 SS ，必要时再增加化学协同除磷以及外部碳源的投加。应优先选用技术成熟、具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的污水处理工艺流程，例如，改进的 A^2/O 系列工艺和强化除磷脱氮氧化沟，条件确实适合时也可选择 SBR 系列工艺。回流污泥反硝化生物除磷脱氮（改良 A^2/O ）及其变型工艺在厌氧池前增设预缺氧池，主要利用小比例进水碳源反硝化去除回流污泥硝酸盐，有利于同时生物除磷脱氮。

表6 生物处理典型工艺单元选择

工艺单元	主要处理功能及选择因素
预缺氧池	通过回流污泥反硝化脱氮，消除硝态氮对后续生物除磷工艺过程的不利影响，提高内部碳源的有效利用率，节省除磷药剂与外部碳源消耗
厌氧池	通过与后续好氧区的交替循环，形成聚磷菌优势生长所需的厌氧/好氧环境条件，发挥生物除磷功能
缺氧池	通过与后续好氧区的交替循环，形成反硝化和硝化工艺过程所需的缺氧/好氧环境条件，实现生物脱氮功能
碳源投加*	针对进水 TN/BOD_5 偏低、反硝化碳源不足的情况，通过外加碳源及投加点的优化配置，提高生物脱氮及生物除磷能力
好氧池	完成有机物的充分降解、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的生物硝化、磷的生物吸收，以及同步硝化反硝化、污泥稳定化等生物处理功能
投加填料*	针对生物池池容不足或建设用地明显受限的情况，在好氧池局部投加生物载体填料，强化硝化及相应的反硝化能力
除磷药剂*	针对生物除磷难以一级 A 稳定达标的情况，在生物曝气池的后端投加铝盐或铁盐，同步进行化学协同除磷
二沉池	完成活性污泥混合液的固液分离，进行污泥回流循环； SBR 系统无二沉池，生物反应与沉淀过程在同一个池子内按时间顺序完成
膜池*	替代活性污泥法处理系统的二沉池，膜生物反应器（ MBR ）的膜池通过膜过滤方式完成混合液的固液分离，膜池混合液大回流比返回到前端生物池

* 可供选用的强化技术或替代技术。

三大主流工艺 A²/O、氧化沟、SBR 的强化脱氮除磷技术措施有所差别，下面分别从一级 A 改造工程和新建工程方面，针对主要水质指标 NH₃-N、TN 和 TP，对不同工艺生物系统强化脱氮除磷的一般技术措施分别总结如下。

表7 A²/O 工艺生物段强化脱氮除磷技术措施

指标	改造工程	新建工程
NH ₃ -N	<p>(1) 优先采用优化运行技术，提高系统硝化能力，如提高污泥浓度 MLSS、增加曝气量、提高污泥活性、增加污泥龄 SRT；</p> <p>(2) 好氧池扩容；</p> <p>(3) 好氧池投加悬浮填料。</p>	<p>(1) 合理确定好氧池设计水力停留时间 HRT，确保满足硝化需求；</p> <p>(2) 合理设计好氧池曝气量，确保硝化反应的需氧量；</p> <p>(3) 合理设计系统污泥龄和污泥浓度。</p>
TN	<p>(1) 优先采用优化运行技术，提高系统反硝化能力，如合理调控内回流比、优化碳源配置、控制好氧池内回流泵处 DO 浓度等；</p> <p>(2) 增加缺氧池容积，提高内源反硝化能力；</p> <p>(3) 增设外碳源投加系统，外碳源可选择乙酸钠、乙酸等快速碳源，并且碳源投加点尽量避开高浓度 DO 处。</p>	<p>(1) 合理确定缺氧池设计 HRT；</p> <p>(2) 合理设计混合液内回流系统，如内回流泵配置、内回流比等；</p> <p>(3) 采用内回流混合液 DO 控制技术，如曝气池末段曝气量单独控制、设置消氧区；</p> <p>(4) 优化碳源配置设计，确保进水碳源或外碳源高效利用；</p> <p>(5) 设计后置缺氧池，提高 TN 去除率；</p> <p>(6) 设计碳源投加系统，在厌氧池和缺氧池分别预留碳源投加点。</p>
TP	<p>(1) 增设预缺氧池（设计 HRT 0.5-1h），提高生物除磷能力，如条件允许可将原厌氧池分割出部分容积作为预缺氧池；</p> <p>(2) 增设化学协同除磷系统，药剂投加点可设置在好氧池出水处或二沉池配水井处。</p>	<p>(1) 采用带回流污泥反硝化的改良 A²/O 工艺；</p> <p>(2) 厌氧池配置在线 ORP 仪；</p> <p>(3) 合理控制化学协同除磷系统加药量，避免抑制生物除磷；</p> <p>(4) 采用后置化学除磷方式。</p>

注：消氧区为设置于好氧区末段，并设置内回流泵的一段区域，用于降低内回流点 DO 浓度。

表8 氧化沟工艺生物段强化脱氮除磷技术措施

指标	改造工程	新建工程
NH ₃ -N	<p>(1) 优先采用优化运行技术，提高系统硝化能力，如优化沟道内 DO 分布、提高污泥浓度、提高污泥活性等；</p> <p>(2) 改造机械曝气系统，提高系统供气量，如将机械曝气系统改造为底部鼓风曝气；</p> <p>(3) 局部沟道内投加悬浮填料。</p>	<p>(1) 合理确定好氧段设计水力停留时间 HRT，确保满足硝化需求；</p> <p>(2) 合理设计好氧池曝气系统，确保硝化反应的需氧量；</p> <p>(3) 合理设计系统污泥龄 SRT 和污泥浓度 MLSS。</p>
TN	<p>(1) 优先采用优化运行技术，提高系统反硝化能力，如合理调控沟道内 DO 分布和内回流闸开启度、优化碳源配置、合理控制内回流混合液 DO 浓度等；</p>	<p>(1) 尽量设计独立的缺氧区，并合理确定缺氧区设计 HRT；</p> <p>(2) 采用水力混合液内回流系统，合理调控闸门开启度，并控制内回流混合</p>

	<p>(2) 增加缺氧段容积, 提高内源反硝化能力;</p> <p>(3) 增设外碳源投加系统, 外碳源可选择乙酸钠、乙酸等快速碳源, 并且碳源投加点尽量避开高浓度 DO 处。</p>	<p>液 DO 浓度;</p> <p>(3) 优化碳源配置设计, 确保进水碳源或外碳源高效利用, 如进水不应进入好氧沟段;</p> <p>(4) 设计外碳源投加系统, 在厌氧池和缺氧段分别预留碳源投加点。</p>
TP	<p>(1) 增设厌氧池, 提高生物除磷能力, 条件许可应在厌氧池前设置预缺氧池;</p> <p>(2) 增设化学除磷系统, 药剂投加点可设置在氧化沟出水处或二沉池配水井处。</p>	<p>(1) 设置预缺氧池与厌氧池;</p> <p>(2) 厌氧池配置在线 ORP 仪;</p> <p>(3) 合理控制化学协同除磷系统加药量, 避免抑制生物除磷;</p> <p>(4) 采用后置化学除磷方式。</p>

表9 SBR 工艺生物段强化脱氮除磷技术措施

指标	改造工程	新建工程
NH ₃ -N	<p>(1) 优先采用优化运行技术, 如提高 DO 浓度、提高污泥浓度、延长好氧工序时间、提高系统泥龄 SRT、提高污泥活性;</p> <p>(2) 改造曝气系统, 提高曝气量;</p> <p>(3) 投加悬浮填料。</p>	<p>(1) 合理确定好氧工序时间;</p> <p>(2) 合理设计鼓风曝气系统, 如采用变频风机、大小风机搭配;</p> <p>(3) 合理设计系统污泥龄 SRT 和污泥浓度 MLSS。</p>
TN	<p>(1) 进水阶段不宜曝气;</p> <p>(2) 控制好氧工序 DO 浓度不超过 2mg/L;</p> <p>(3) 增加缺氧工序时间;</p> <p>(4) 增设外碳源投加系统, 外碳源可选择乙酸钠、乙酸等快速碳源, 并且在缺氧工序投加碳源。</p>	<p>(1) 采用具脱氮除磷功能的 SBR 工艺, 如 CAST、CASS 等;</p> <p>(2) 合理设计缺氧工序时间;</p> <p>(3) 优化曝气系统设计, 如采用变频风机、大小风机搭配等;</p> <p>(4) 反应池配置在线 DO 仪;</p> <p>(5) 设计碳源投加系统, 在缺氧工序投加碳源。</p>
TP	<p>(1) 增设厌氧工序, 提高生物除磷能力;</p> <p>(2) 在厌氧工序前设置的缺氧搅拌工序 (0.5h);</p> <p>(3) 增设化学协同除磷系统, 好氧工序后期投加药剂。</p>	<p>(1) 设置厌氧工序, 条件许可可在厌氧工序前设置缺氧搅拌工序;</p> <p>(2) 反应池配置在线 ORP 仪;</p> <p>(3) 合理控制化学协同除磷系统加药量, 避免抑制生物除磷;</p> <p>(4) 采用后置化学除磷方式。</p>

5.2 A/A/O 系列工艺

5.2.1 技术条件

(1) 具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的 A/A/O 系列工艺

新建 (扩建) 污水处理工程及具备条件的改造工程, 尽可能采用具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的 A/A/O 系列工艺。

(2) 环沟式改良 A/A/O 高效除磷脱氮工艺

进水 TN 浓度波动大的新建（扩建）城镇污水处理厂，可采用环沟式改良 A/A/O 高效除磷脱氮工艺。

（3）填料投加技术

采取优化运行措施后，出水 TN、NH₃-N 仍然不能稳定达标，且新增池容困难时，可在生物池好氧区投加填料，增强硝化能力及相应反硝化能力。

5.2.2 技术特征

（1）具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的 A/A/O 系列工艺

A. 具有相对独立的厌氧、缺氧、好氧区域以及回流污泥反硝化区域，功能分区明确、协调，除磷脱氮效果可靠。推流池型对进水氮浓度变化的缓冲能力稍差，完全混合与循环流池型的缓冲能力较强。

B. 回流污泥利用 10% ~ 50% 进水的有机物和活性污泥本身（内源反硝化），可基本去除回流污泥中的硝态氮，提高生物除磷效果。

C. 采用多点进水设计，可根据进水水量水质特性和环境条件的变化，灵活调整工艺运行方式。

（2）环沟式改良 A/A/O 高效除磷脱氮工艺

A. 环沟式改良 A/A/O 生物池宜与初沉发酵池和周进周出二沉池配合使用。

B. 生物池采用双沟道串联池型，增强同步硝化反硝化能力，提高硝化稳定性和 TN 去除率。

（3）填料投加技术

A. 填料投加量应根据进出水水质和挂膜试验确定的表面负荷或有效生物量计算。

B. 无试验数据时，悬浮填料有效比表面积可按 400~500m²/m³ 计，投加比率（容积）宜在 20%~50%；好氧区 NH₃-N 容积负荷宜采用 0.05~0.13kgNH₃-N/(m³·d)；填料区的 NH₃-N 负荷可按投加前的 NH₃-N 负荷的 2 倍计算。

C. 填料投加区应与好氧区末端保持 10~20m 距离，同时不宜过于靠近好氧区前端。

D. 填料投加区应根据需要增设曝气装置，好氧区末端 10~20m 范围内的曝气量宜单独控制。

E. 填料投加区宜设置水下推进器形成循环流，功率密度不小于 4W/m³，并在水流转弯处设置导流墙。好氧区末端 10~20m 范围内，宜安装水下搅拌装置，功率密度大于 2 W/m³。应采取措施避免填料对推进器叶轮、电缆等的影响。

F. 悬浮填料投加区与非投加区用格网隔开，格网与水流方向呈小于 30 度倾角。格网处、池壁处均应设置防止填料堆积的穿孔曝气冲刷系统。

G. 应采用生物附着性好、有效比表面积大、孔隙率高、寿命长的填料。

H. 投加悬浮填料还应注意水力条件、池形要求、曝气方式等问题。

5.2.3 工艺流程

(1) 回流污泥反硝化改良 A²/O 工艺

该工艺流程是在原 A²/O 工艺厌氧区的前端增设厌氧/缺氧调节区（预反硝化区），回流污泥和一定比例进水（50%以下，最初建议 10%）进入该区，水力停留时间 20~30 min，利用小比例进水中的有机物和活性污泥的内源代谢进行反硝化，有效去除回流污泥中的硝态氮，使后续厌氧区不受回流硝态氮的不利影响，聚磷菌能够充分利用进入厌氧区的快速生物降解有机物。

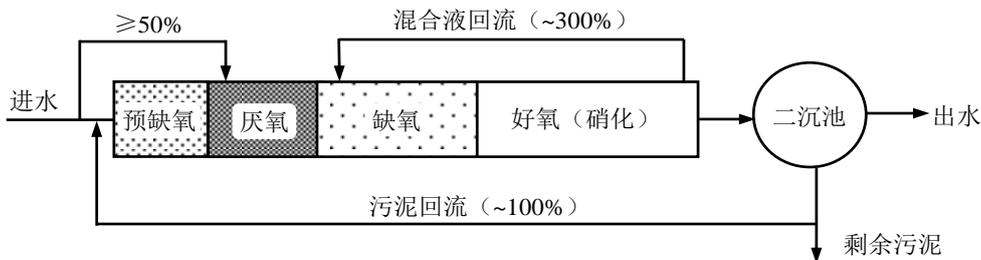


图3 回流污泥反硝化改良 A²/O 工艺流程

(2) 改良 A²/O-IFAS 工艺

改良 A²/O-IFAS 组合工艺流程主要适合于占地受限情况下的提标改造工程，好氧池的部分区段改造为 IFAS 系统，投加悬浮填料，保障冬季低温条件下的硝化效果，同时可以提高反硝化区的容积比例，提高碳源利用效率，增强脱氮能力。

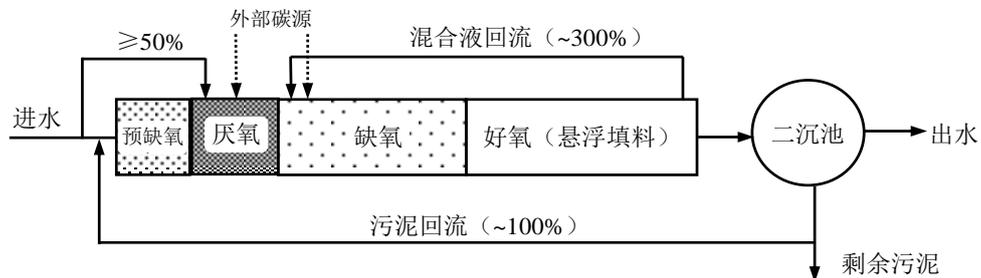


图4 改良 A²/O-IFAS 工艺流程（回流污泥反硝化与悬浮填料）

(3) 回流污泥反硝化改良 Bardenpho 工艺

六段式回流污泥反硝化改良 Bardenpho 工艺流程适用于进水 TN 浓度较高、

排放标准一级 A 以上的新建和改扩建工程，其中位于生物池末端的缺氧区和好氧区停留时间分别控制在 0.5h 左右，投加外部碳源进行深度反硝化。

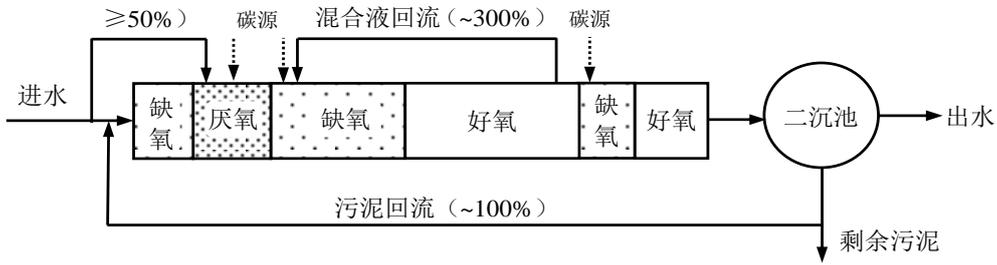


图5 六段式回流污泥反硝化改良 Bardenpho 工艺流程

(4) 环沟型改良 A²/O 工艺

该工艺的原理与改良 A²/O 工艺基本相同，主要不同之处为，采用双沟道氧化沟池型替代原先的缺氧区和好氧区，有利于缓冲进水水质水量的波动，提高 NH₃-N 和 TN 的去除率。

双沟道氧化沟为无岛轴对称型结构，外沟以缺氧区为主，内沟为好氧区。外沟道采用间隔布置的微孔曝气或机械曝气进行交替供气，控制低溶解氧浓度，达到一定程度的同时硝化反硝化及短程硝化反硝化效果。同时，内沟作为 NH₃-N 稳定达标的保障环节，溶解氧不低于 2.0 mg/L。

当出现硝态氮偏高并导致出水 TN 不能稳定达标时，可以在非曝气区适当投加外部碳源或降低厌氧池进水比例，碳源投加点选择在外沟道的缺氧区域。当进水 NH₃-N 过高，冬季硝化效果不能满足稳定达标要求时，还可以在氧化沟的内沟道投加生物填料以提高硝化能力及运行稳定性。

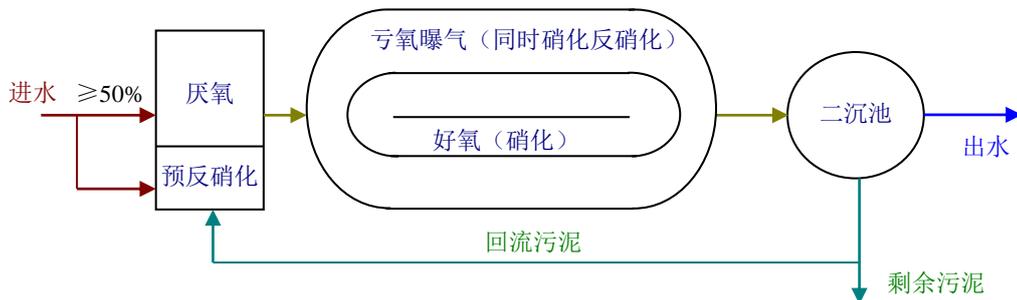


图6 环沟型改良 A²/O 生物除磷脱氮工艺流程

5.3 氧化沟系列工艺

5.3.1 技术条件

氧化沟技术是活性污泥法的重要组成部分，可用于城镇污水处理厂的新建、扩建和提标改造。通过精心的设计和运行，在适用条件下，氧化沟的优势能够得到较好的体现，尤其是融合不同工艺原理和技术设备的集成型氧化沟系统。通过形成厌氧、缺氧和好氧状态的交替循环，氧化沟系统能满足除磷脱氮的功能需求，出水水质较为稳定。设计合理、运行良好的除磷脱氮型氧化沟系统，结合后续过滤单元，出水可以达到一级 A 标准。

新建（扩建）污水处理工程及具备条件的改造工程，推荐采用具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的氧化沟系列工艺。

5.3.2 技术特征

具有回流污泥反硝化强化除磷脱氮功能的氧化沟系列工艺技术特征：

A. 具有较强的抗冲击负荷能力，运行管理简单，但占地较大，机械曝气电耗较高。

B. 在氧化沟前端设置缺氧池和厌氧池，可单独建设或与氧化沟合建。回流污泥回流至预缺氧池，进水按一定比例分别进入预缺氧池和厌氧池。

C. 通常采用表面曝气（转碟、转刷曝气或曝气机），也可采用底部鼓风曝气。

D. 沟道内溶解氧浓度沿沟长呈梯度变化，形成同步硝化反硝化条件，具有较好的脱氮效果。

表10 氧化沟系统的实施方式及主要考虑因素

考虑因素	实施方式及单元选择
曝气设备	机械曝气：立轴表曝机（Carrousel）；横轴表曝机（转刷或转碟，Pasveer、D 型、T 型、Orbal 等）；需要全面了解供氧与混合能力、动力效率和运行灵活性； 鼓风曝气：需要与混合推流设备配合使用
厌氧和缺氧条件	单独厌氧池：生物除磷效果较好，可与氧化沟沟道合建（如 Carrousel 2000）； 单独缺氧池：可与氧化沟沟道合建（如 Carrousel 2000）； 不设单独缺氧池：通过计算非曝气污泥量比值和需氧量，确定曝气设备的点源交替布置，形成缺氧/好氧交替的环境条件，但此种条件下，硝化区与反硝化区将处于

	<p>难控制的漂移状态，硝化能力与反硝化能力具有不确定性；</p> <p>预缺氧池：进水按一定比例分别进入预缺氧池和厌氧池，污泥回流至预缺氧池，再进入厌氧池，可强化生物除磷脱氮功能，属于改良 A²/O 原理的应用</p>
二沉池与污泥回流	<p>不单独设置二沉池和污泥回流：多沟交替式系统的生物反应和固液分离同池完成（如 T 型），对进水浓度低的系统采用此方式可节省土建投资，但进水浓度高的系统因曝气设备利用率过低及池容加大，不宜采用此方式；</p> <p>设置二沉池和污泥回流：运行控制简单、稳定，回流污泥反硝化可强化生物除磷脱氮功能，运行调整灵活性较好</p>
溶解氧控制	<p>取决于曝气设备、运行方式和池型构造，缺氧/好氧快速交替有利于提高氧传递效率</p>
污泥浓度 MLSS	<p>一般选取 3.5~5.0 g/L，取值大小与氧化沟类型无关，主要基于供氧强度、运行调整灵活性和处理效果稳定性等方面的考虑；MLVSS/MLSS 比值越低，取值可越高</p>
池深	<p>池深加大节省占地面积，但土建投资增加，尤其地下水位高的情况；池深大小主要取决于曝气设备的混合性能，可以通过曝气设备与混合设备的组合来加大池深</p>
混合液悬浮状态	<p>通过采用混合能力强的曝气设备来实现，或者采取曝气与混合推流设备相结合的方式；需要合理可靠的生物池水力学流态设计，避免死角和流速分布过度不均匀</p>

5.3.3 工艺流程

随着氧化沟技术研究的深入和工程实践，近年来产生了以循环流沟道为主要组合单元、融合生物除磷脱氮工艺原理的多种氧化沟池形及设备配置。例如，将改良 A²/O 工艺和同步硝化反硝化的原理融入如图所示的改进型氧化沟系统；或者采用微孔曝气与推进器的组合来替代表面曝气系统，使运行控制调节更加灵活。

传统表面曝气氧化沟的池深较浅、充氧效率不够高、充氧和推流混合难以协调，通过氧化沟循环流态和微孔曝气充氧方式的集成，可以发挥微孔曝气反应池有效水深较大、充氧效率高以及氧化沟抗水量水质变化能力强、混合液回流能耗低等优势，较大程度地克服传统氧化沟占地面积大、充氧效率低的弊端。

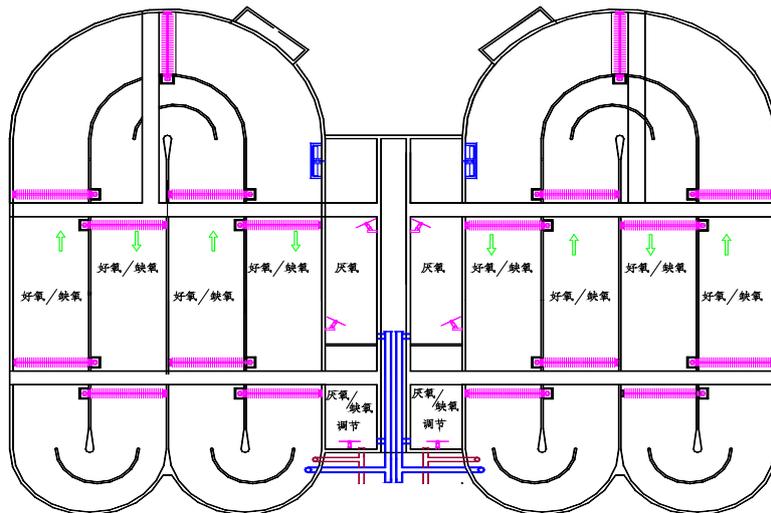


图7 氧化沟型改良 A²/O 生物除磷脱氮工艺系统示意图

5.4 SBR 系列工艺

5.4.1 技术条件

SBR 是通过时间变换空间来创造微生物生长环境的，由于依赖严格的自动化时序操作来实现工艺过程的连续运行，不设二沉池，对于排放标准高的除磷脱氮型污水处理厂，SBR 系统可能不是最佳选择。

一般来说，排放标准高而运行管理水平和设备性能保障程度较低的污水处理厂不建议采用 SBR 系统，仅在占地面积受限、设备和自控系统运行稳定保障度高的条件下，考虑选用某些改良型 SBR 系统，用于小型污水处理厂的建设。

5.4.2 技术特征

(1) SBR 系列工艺采用序批式处理方式。处理构筑物较少，占地较省，自控要求较高，设备利用率较低。

(2) 设计和运行良好的 SBR 系统可以获得良好的出水水质，但更多取决于进水水质条件和适合的运行模式，实际运行中最佳条件比较难控制。

(3) 对一般 SBR 系统，一级 A 排放标准中 TN 的要求较难达到，TP 的要求一般可通过化学协同除磷来实现，但需要特别注意除磷药剂投加的时机、位置和混合条件。

5.4.3 工艺流程

在各种改良 SBR 系统中，CASS/CAST 的应用程度和除磷脱氮效果占优。

CAST 循环式活性污泥法,其基本特点为,用整流墙将反应池分割成预反应区(生物选择区)和主反应区,从主反应区向预反应区回流污泥。预反应区的功能与 ICEAS 相同,但通过污泥回流,可抑制丝状菌,并提高生物脱氮效率。

CAST 和 CASS 相比,本质上是相同的,不同之处仅为进水方式。CAST 在沉淀工序之前停止进水,而 CASS 在沉淀工序中还持续进水(滗水工序停止进水)。现一般将二者视为同一种工艺系统,运行操作步骤见图。

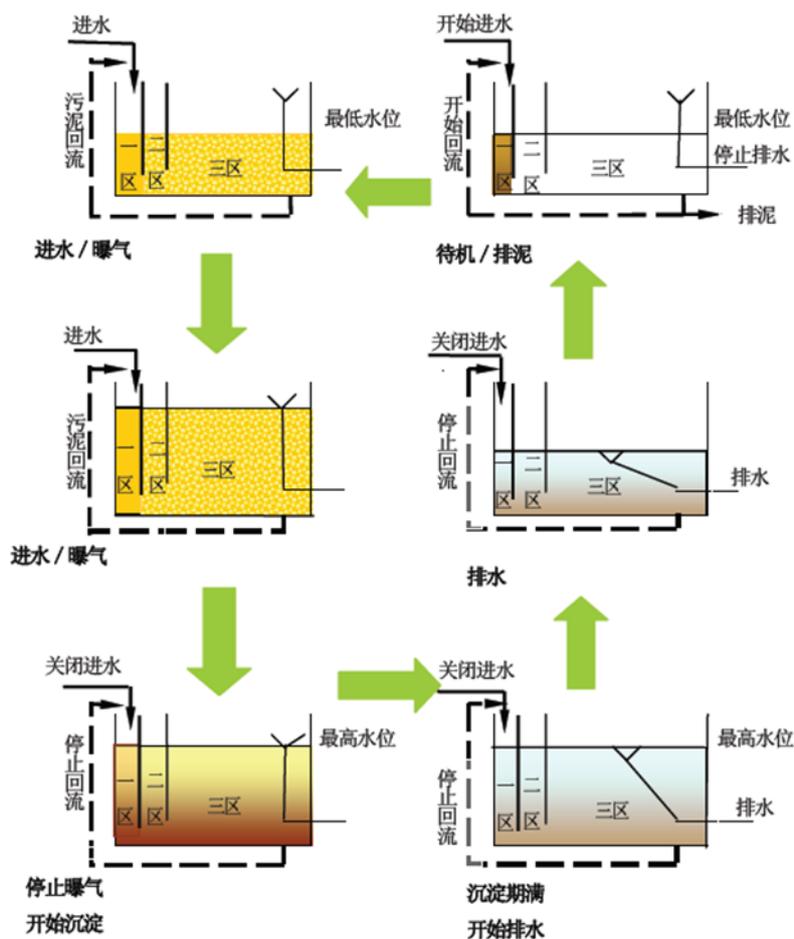


图8 CAST/CASS 工艺的运行操作步骤 (除磷脱氮)

5.5 MBR 工艺

5.5.1 技术条件

当新建(扩建)污水处理厂需要同时除磷脱氮,且用地受限、出水水质要求高或有再生利用要求、经济条件允许时,可采用与生物除磷脱氮工艺过程相结合的 MBR 工艺。

5.5.2 技术特征

- (1) 占地面积较小，出水水质较好，工程投资及运行成本高。
- (2) 进水漂浮物的去除要求较高，生物池前需设超细格栅（格网）。
- (3) MBR 工艺系统中，生物处理通常采用 A/A/O 系列工艺，生物池污泥浓度较高，泥龄较长，水力停留时间相对缩短。

5.5.3 工艺流程

改良 A²/O-MBR 系统的膜池可以采用分建式或一体式。在下图所示的分建式系统中，设置 2 个回流系统，一个是膜池混合液回流至好氧池前端和预缺氧池，预缺氧池消耗溶解氧和硝态氮，保障后续厌氧池的稳定运行，另一个为好氧池末端混合液回流到缺氧池前端，反硝化脱氮。

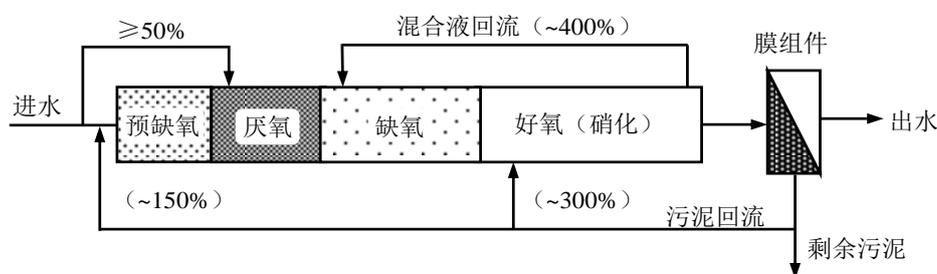


图9 改良 A²/O- MBR 工艺系统

5.6 粉末活性炭工艺

5.6.1 技术条件

进水中印染废水所占比例大于 50%，或进水中不可生物降解、不易被吸附的 COD 组分影响出水达标时，新建（扩建）或提标污水处理厂可采用粉末活性炭工艺。

5.6.2 技术特征

- (1) 为保证出水水质稳定达到一级 A 标准，在粉末活性炭工艺后需增设深度处理设施。
- (2) 将活性炭吸附和除磷脱氮生物处理技术有效结合，粉末活性炭起有机物吸附和微生物载体的作用，通过微生物的降解作用，可在一定程度上恢复粉末活性炭的吸附能力。

(3) 吸附饱和的粉末活性炭仍可为微生物特别是硝化细菌提供附着表面，有效增加生物量，降低有机负荷和氮负荷，相应提高去除效果。

5.7 碳源投加

5.7.1 技术条件

(1) 已建工程： $\text{NH}_3\text{-N}$ 稳定达标，但 TN 不能稳定达标。

(2) 新建工程：生物处理系统进水 BOD_5 与达标所需 TN 去除量的比值小于 5；进水 $\text{BOD}_5/\text{TN} < 4$ ；进水 $\text{BOD}_5/\text{TN} \geq 4$ ，但溶解性 $\text{BOD}_5/\text{TN} < 4$ 。

5.7.2 技术特征

(1) 通过外加碳源，提高反硝化能力和速率。

(2) 外加碳源有甲醇、乙酸、乙酸盐、酒业废水、食品加工废水等。其中，甲醇、乙酸、乙酸盐为常用的快速反硝化外加碳源。

第六章 深度处理技术

6.1 典型工艺单元选择

深度处理单元是污水处理厂水线单元的最终端，也是各项水质指标稳定达标的關鍵所在。污水处理工程设计通常需结合生物处理单元的潜在不达标因子或指标进行深度处理工艺技术选择与单元选配。根据现有排放标准的指标要求，原则上城镇污水处理厂深度处理单元配置主要从强化 COD、SS、TP、NO₃⁻-N 去除等方面考虑，部分区域还需考虑强化出水脱色、消毒等问题。污水处理厂出水 NH₃-N 的去除问题原则上宜在生物处理单元考虑。

表11 深度处理典型工艺单元选择

工艺单元	主要处理功能及选择因素
化学混凝	强化二级生物处理出水悬浮固体（SS）、胶体颗粒和总磷（TP）的去除，改进后续的沉淀和过滤处理效果
絮凝沉淀池*	通过化学絮凝和沉淀过程，进一步降低处理水的 SS、TP、有机物、色度等水质指标的浓度值，同时保障后续过滤工艺单元的处理效果
砂滤池	通过石英砂等过滤介质对颗粒物的截留作用，进一步过滤去除 SS、TP 等污染物，同时保障后续的消毒处理效果；运行稳定可靠，但占地和水头较大
机械过滤*	替代砂滤池的过滤处理系统；转盘或滤布过滤模式，占地和水头较小
膜过滤*	替代传统过滤技术，采用微滤膜或超滤膜进行过滤处理，SS 和 TP 截留率高，过滤效果好，占地面积较小，但投资和运行成本较高
反硝化滤池*	适用于二沉出水 NH ₃ -N 达标、TN 不达标的情况，通过外加碳源，进行深度反硝化和过滤处理；或作为二级生物处理工艺的组成单元
曝气生物滤池*	适用于二沉出水 TN 达标、NH ₃ -N 不达标的情况，进行后续的生物硝化和过滤处理；或作为二级生物处理工艺的组合单元，通常与反硝化滤池组合
化学氧化*	用于溶解性难生物降解有机物和色度的去除，例如，臭氧氧化技术
物理吸附*	用于溶解性难生物降解有机物和色度的去除，例如，活性炭吸附技术

* 可供选用的强化技术或替代技术。

6.2 混凝

6.2.1 设置条件

(1) 化学除磷；

(2) 需进一步去除 SS、有机物、色度。

6.2.2 技术特征

(1) 常用化学药剂有聚合氯化铝、硫酸铝、氯化铁、硫酸亚铁以及聚合氯化铝铁等。

- A. 氯化铁和硫酸铝的除磷效果较好；
- B. 聚合氯化铝和聚合氯化铁较适合去除非溶解性磷，通常不采用硫酸亚铁；
- C. 聚合氯化铝铁、聚合氯化铝或聚合氯化铁适合于同步化学除磷；
- D. 聚合氯化铝、聚丙烯酰胺适合于印染废水的深度处理和脱色处理。

(2) 同步化学除磷时，在曝气池的出口端、或无独立沉淀池的曝气池进口处投加药剂，形成的沉淀物与剩余污泥一起排除；后置化学除磷时，在二沉池之后投加药剂，形成的沉淀物经另设的固液分离装置（沉淀池或滤池等）排出。

(3) 在絮凝反应池中，通过慢速搅拌，控制水流的紊流或搅拌强度，防止絮体粒子的沉淀、破碎与解体。同时，充足的絮凝反应时间确保絮体在过滤之前形成。

(4) 铝盐和铁盐在形成沉淀时会消耗一定的碱度。一般投加 1mg 硫酸铝，生成 0.26mg 氢氧化铝沉淀，消耗 0.5 mg/L 碱度（以碳酸钙计）；投加 1mg 硫酸铁，生成 0.5mg 氢氧化铁沉淀，消耗 0.75 mg/L 碱度。

6.3 沉淀

6.3.1 设置条件

(1) 需进一步去除 SS、TP、有机物、色度时，为保障后续过滤工艺的处理效果和运行稳定性，可在混凝后设置沉淀处理单元。

(2) 按池型分为平流沉淀池、斜管（板）沉淀池、澄清池、高密度澄清池、磁混凝澄清池等，其设置条件分别为：

用地较为宽松时，可采用平流沉淀池；

用地相对紧张时，可采用斜管（板）沉淀池、澄清池或高密度澄清池、磁混凝澄清池。

6.3.2 技术特征

(1) 平流沉淀池

A. 上部为沉淀区，下部为污泥区。池前部有进水区，通常采用穿孔花墙池布水，后部有出水区，通常采用指型槽集水。

B. 带有机械排泥设备，操作管理方便，施工简单，适应性强，潜力大，处理效果稳定，但占地面积较大。

(2) 斜管（板）沉淀池

A. 利用浅层沉淀理论，在普通沉淀池中，加设平行倾斜管（或斜板），上部为清水区，中部为斜管（板）区，下部为配水区和沉泥区。

B. 沉淀效率高，水力停留时间短，占地较少。通常根据进水方式的不同分为上向流、下向流和侧向流三种形式，多采用上向流。

(3) 澄清池

A. 澄清池包括悬浮泥渣型和回流泥渣型，池内通常设置机械搅拌设备，在一个池子内完成混凝和泥水分离作用。

B. 进水流经高浓度悬浮污泥渣层，通过接触絮凝，截留悬浮物，清水从上部排出。

(4) 高密度澄清池

A. 集混凝、预沉（浓缩）、斜管分离于一体，通常由反应池、预沉-浓缩池和斜管分离池等三个部分组成。

B. 反应区形成高密度、均质的矾花，慢速从预沉区进入澄清区，进行固液分离，澄清水由上部排出，污泥沉积在底部并浓缩，部分回流至反应区。

C. 占地面积较小，处理效果好，污泥脱水性能好。

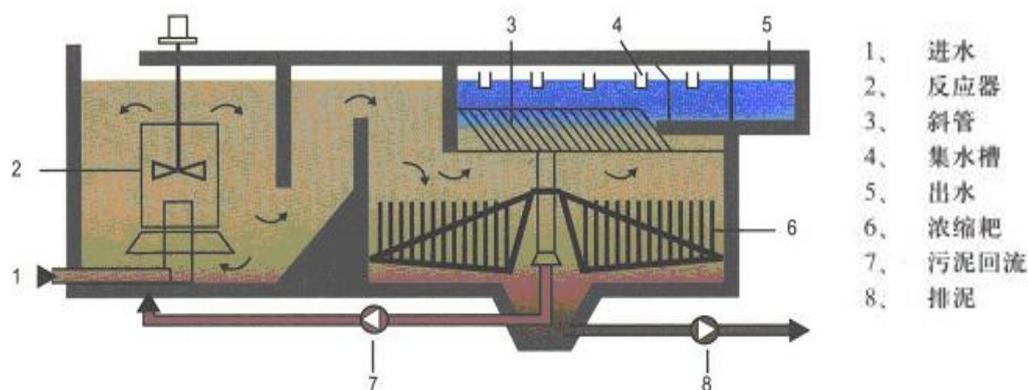


图10 高密度澄清池示意图

(5) 磁混凝澄清池

A. 在投加混凝剂、助凝剂的同时投加磁粉，混凝过程中磁粉被絮体包裹起来，在沉淀池中起到加速沉降的作用。

B. 沉淀污泥一部分回流到絮凝池，提高混凝效果；一部分通过磁鼓将磁粉从污泥中分离出来，磁粉回到絮凝池循环利用，污泥进行无害化处理。

C. 添加磁粉加速沉淀，节省占地面积，减小沉淀池容积。

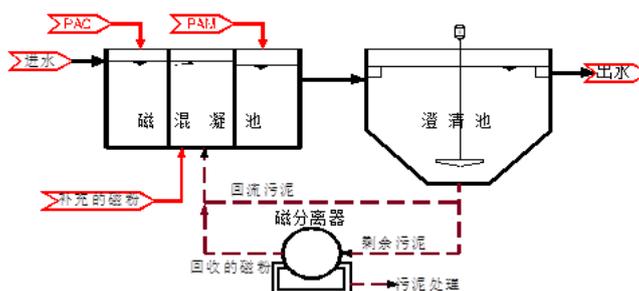


图11 磁混凝澄清池工艺流程图

6.4 过滤

6.4.1 砂滤

6.4.1.1 设置条件

- (1) 需进一步去除 SS（或化学除磷）时，应设置过滤设施。
- (2) 用地较宽松、运行可靠性和稳定性要求高时，宜设置砂滤池。

6.4.1.2 技术特征

(1) 为延长过滤时间，避免水头损失过快增长，进水 SS 浓度一般不宜超过 20 mg/L。

(2) TP 基本达到一级 A 标准且二级出水 SS 小于 20 mg/L 时，可采用直接过滤；进水 TP 浓度小于 1.5mg/L，进水 SS 小于 20mg/L 时，可采用微絮凝过滤。

(3) 微絮凝过滤的滤池一般需要设置双层或者三层滤料，采用单层滤料时，滤料的粒径和滤层厚度应适当增加。

(4) 砂滤池系统的水头损失较大，滤池前端一般需设提升设施。

6.4.2 活性砂滤池

6.4.2.1 设置条件

需进一步去除 SS、TP，且用地紧张、要求连续出水时，可设置活性砂滤池。

6.4.2.2 技术特征

(1) 活性砂过滤器由罐体、布水器、导砂斗、洗砂器和空气提升泵器等装置组成。

(2) 效率高，24 小时连续工作，不需停机反冲洗。清洗水自用水量仅为总进水量的 1-3%。

(3) 运行费用低，不需高扬程大流量的反冲洗泵。

(4) 维护费用低，活性砂过滤器在运行过程当中除石英砂滤料外没有任何转动部件，故障率低，维护费用省。

(5) 自动化程度高，通过气动控制柜和电动控制柜完成全自动控制，实现无人职守。

(6) 占地面积小，外形美观。

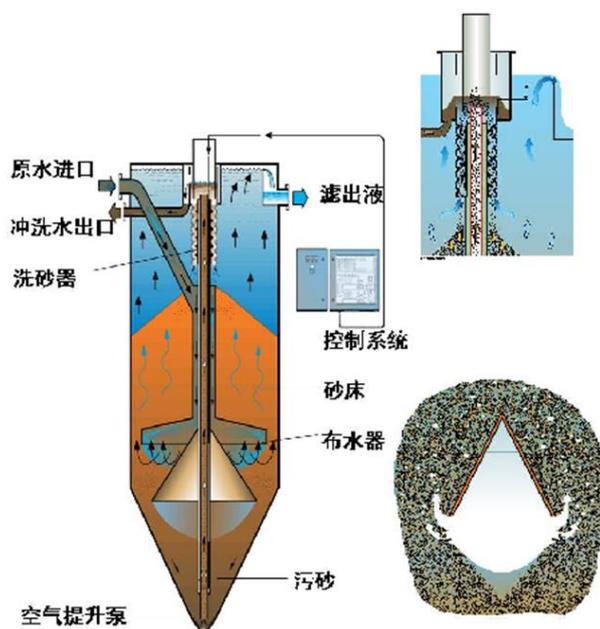


图12 活性砂滤池工作原理图

6.4.3 转盘过滤器

6.4.3.1 设置条件

(1) 需进一步去除 SS (或化学除磷) 时, 应设置过滤设施。

(2) 用地紧张、水力高程有限时, 可设置转盘过滤器。

6.4.3.2 技术特征

(1) 进水由中央进水渠流入转盘后经集水槽排出, 大于滤网孔径的颗粒被截留在转盘内。

(2) 利用水力落差过滤, 水头损失小, 一般无需水泵提升。

(3) 转盘内表面颗粒物积聚, 过滤阻力增加, 水位逐渐升高至反冲洗水位时, 反冲洗喷枪利用滤后水冲洗转盘。一般冲洗时间约占运行时间的 20%~30%。

(4) 滤网通常有聚酯或不锈钢丝网, 最小孔径 $10\mu\text{m}$ 。转盘表面面积浸没度一般为 50%~60%。

(5) 每套过滤器可配置不同数量的转盘, 每只转盘设置不同数量的扇形分片, 模块化安装便于现场调整。

(6) 转盘可不停机更换, 连续工作; 占地面积小。

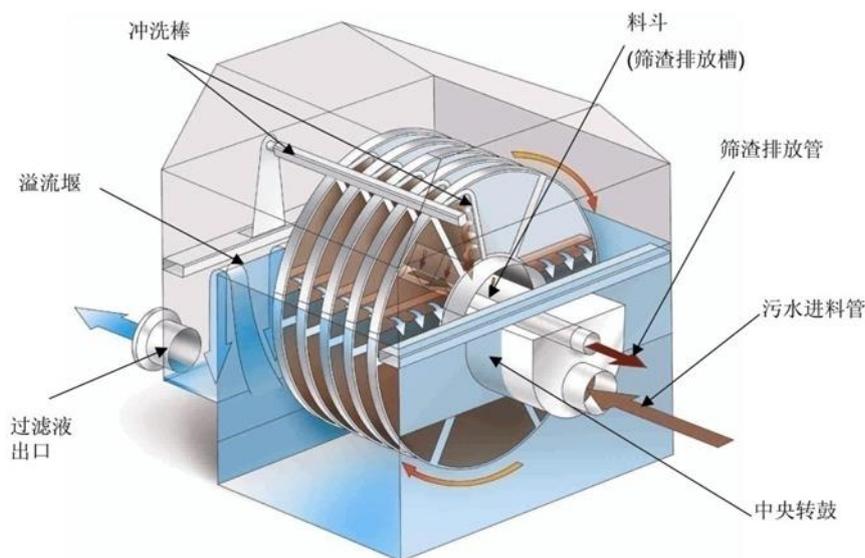


图13 转盘过滤器示意图

6.4.4 滤布过滤器

6.4.4.1 设置条件

(1) 需进一步去除 SS (或化学除磷) 时, 应设置过滤设施。

(2) 用地紧张、水力高程有限时, 可设置滤布过滤器。

6.4.4.2 技术特征

(1) 进水通过滤盘过滤后，经中心集水管排出，大于滤布孔径的颗粒被截留在盘外，部分沉积在池底。

(2) 利用水力落差过滤，水头损失小，无需水泵提升。

(3) 当滤盘外表面颗粒物积聚，过滤阻力增加，水位逐渐升高至反冲洗水位时，启动反抽吸泵，旋转滤盘进行反冲洗。反冲面积一般占过滤面积的 1%。

(4) 滤池设有斗形池底，定时排泥。

(5) 采用聚酯编织针毡滤布或合成纤维绒毛滤布，最小孔径 10 μm ，表面浸没度 100%。

(6) 滤布需停机更换；占地面积小，模块化安装便于现场调整。

6.4.5 微滤膜过滤器

6.4.5.1 设置条件

(1) 需进一步去除 SS（或化学除磷）时，应设置过滤设施。

(2) 用地紧张、出水水质要求较高或出水再生利用，经济条件允许时，可设置微滤膜过滤器。

6.4.5.2 技术特征

(1) 膜过滤器前未设混凝沉淀预处理时，通常设有粗过滤处理（500 μm ）。

(2) 膜过滤系统设有在线监测膜完整性的自动测试系统和自动反冲洗系统，通常采用气水反冲洗，也可根据膜材料采用其他冲洗措施。

(3) 膜的清洗有在线化学清洗和离线化学清洗两种方式。

6.5 曝气生物滤池

6.5.1 设置条件

对于提标改造工程，当原有生物处理段采用强化措施后 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 仍然不能达标时，可在原生物处理段后增加曝气生物滤池。

6.5.2 技术特征

(1) 曝气生物滤池是生物氧化过程和过滤过程合二为一的处理单元，通过

反冲洗释放截留的悬浮物并更新生物膜，实现滤池的周期运行，滤后一般不设沉淀池。

(2) 根据水流方向，曝气生物滤池分为上向流和下向流两种，通常采用上向流。滤料通常具备生物膜易附着、密度适中、形状规则、化学和生物稳定性好、空隙率大等特征。

(3) 滤层内硝化菌浓度较高，产生较强的硝化反应，且适应的水温范围较大。

6.6 反硝化滤池

6.6.1 设置条件

对于提标改造工程，当原有生物处理段采用强化措施后， $\text{NH}_3\text{-N}$ 达标但 TN 仍然不能达标时，可在原生物处理段后增加反硝化滤池。

6.6.2 技术特征

(1) 反硝化滤池是集生物脱氮及过滤功能合二为一的处理单元，在补充碳源的情况下可有效去除 TN，亦可去除 SS 和 TP。

(2) 通常需要外加碳源，运行成本较高。

(3) 滤料为强度、球形度等有严格要求的石英砂。

(4) 采用气水反冲洗，反冲洗水量一般为处理水量的 2% ~ 4%。

(5) 反硝化滤池中产生的氮气需进行驱除。

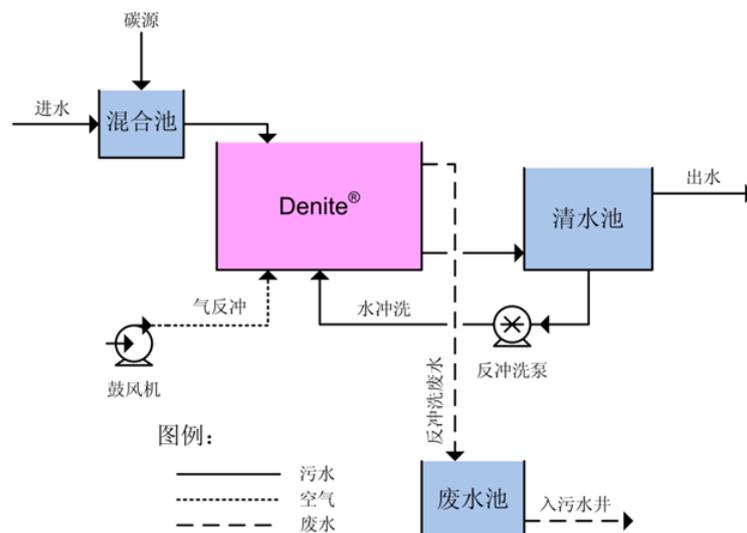


图14 反硝化深床滤池工艺流程图

6.7 臭氧氧化

6.7.1 设置条件

(1) 当进水中难生物降解组分造成的出水 COD 超标时，应设置臭氧氧化技术。

(2) 污水处理厂出水 COD 或色度要求相对较高时，常规生物处理以及以混凝沉淀过滤为核心的深度处理技术通常也难以确保稳定达标，大部分情况下需要考虑采用臭氧氧化技术。

6.7.2 技术特征

(1) 通常运行成本较高。

(2) 臭氧氧化特别适合于二级出水色度、难降解有机物含量较高的情况，其脱色效果明显优于活性炭。

(3) 臭氧氧化接触时间一般为 30~45min，有效水深一般不小于 6 米，工程中可采用折板结构，选择射流扩散、微孔曝气等投加方式。

(4) 以脱色和去除难降解有机物为目的时，去除单位 COD 的臭氧投加量为 2~3mg/L。

(5) 臭氧氧化可部分解决部分城镇污水处理厂出水有机氮、有机磷造成的氮磷超标问题。

(6) 臭氧氧化对城镇污水处理厂进水中的微量污染物具有较好的去除效果。

附录 A 广东省城镇污水处理厂运行现状

城镇污水处理厂运行现状分析是广东省城镇污水处理厂提标建设技术指引编制的重要基础，因此，基于住建部全国城镇污水处理信息系统中 2016 年广东省城镇污水处理厂运行上报数据，从排放标准特征、设计规模特征、主体工艺特征、进水水质特征、运行负荷率特征等方面，对广东省城镇污水处理厂运行现状进行了具体分析。

A.1 广东省城镇污水处理厂排放标准特征

根据住建部全国城镇污水处理信息系统 2016 年运行数据，广东省城镇污水处理厂现状执行排放标准包括一级 A、一级 B、二级、三级和地方标准，考虑到广东省现状执行三级标准与地方排放标准的城镇污水处理厂较少，在排放标准特征分析时，将三级标准和地方标准合并作为其他类，广东省城镇污水处理厂现状排放标准特征见图。

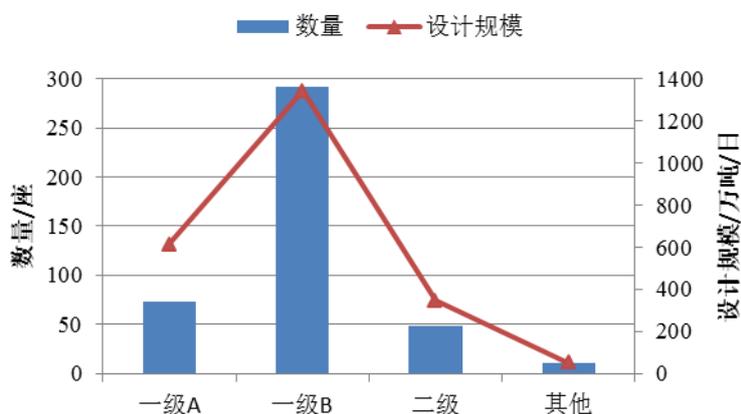


图 A.1-1 广东省不同排放标准城镇污水处理厂数量及设计规模

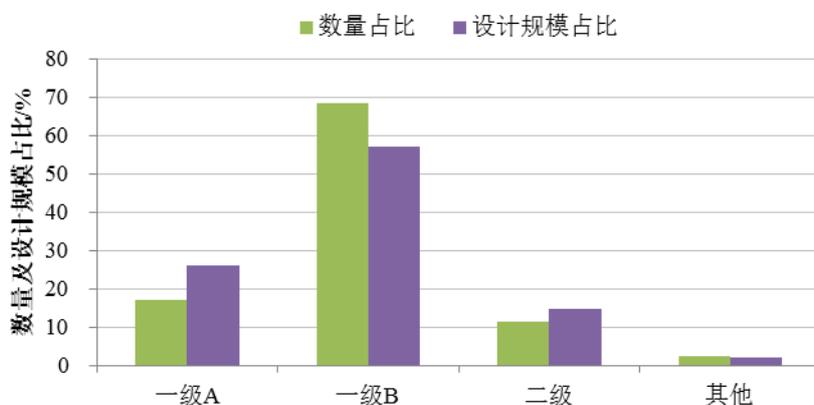


图 A.1-2 广东省不同排放标准城镇污水处理厂数量及设计规模占比

由图可见，现状广东省一级 B 标准城镇污水处理厂占主导，数量及设计规模分别为 291 座和 1340.41 万吨/日，占比分别为 68.6%和 57.1%；其次为一级 A 标准的城镇污水处理厂，数量及设计规模分别为 73 座和 612 万吨/日，占比分别为 17.2%和 26.1%；二级及其他标准的城镇污水处理厂仍占一定比例，数量及设计规模占比分别为 14.2%和 16.8%。

A.2 广东省城镇污水处理厂设计规模特征

为分析城镇污水处理厂设计规模特征，首先将设计规模 Q 进行了分类，即 $Q \leq 0.5$ 万吨/日、 $0.5 < Q \leq 1$ 万吨/日、 $1 < Q \leq 2$ 万吨/日、 $2 < Q \leq 5$ 万吨/日、 $5 < Q \leq 10$ 万吨/日、 $10 < Q \leq 20$ 万吨/日、 $20 < Q \leq 50$ 万吨/日和 $Q > 50$ 万吨/日，在此基础上对现状广东省城镇污水处理厂设计规模总体特征进行了分析，结果见图。

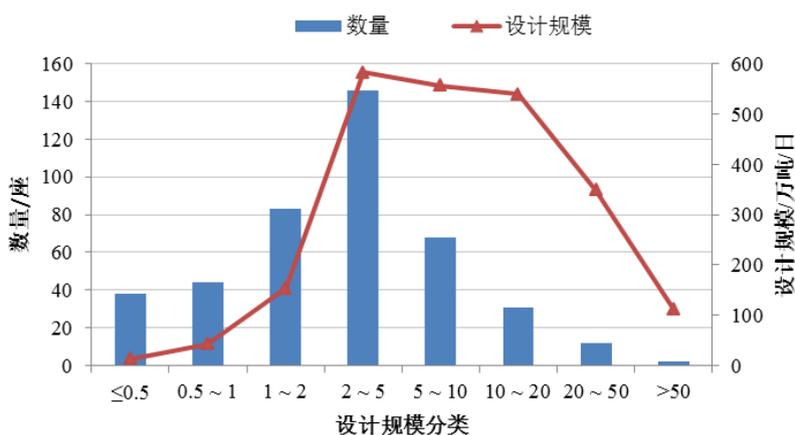


图 A.2-1 广东省不同设计规模城镇污水处理厂数量及总设计规模

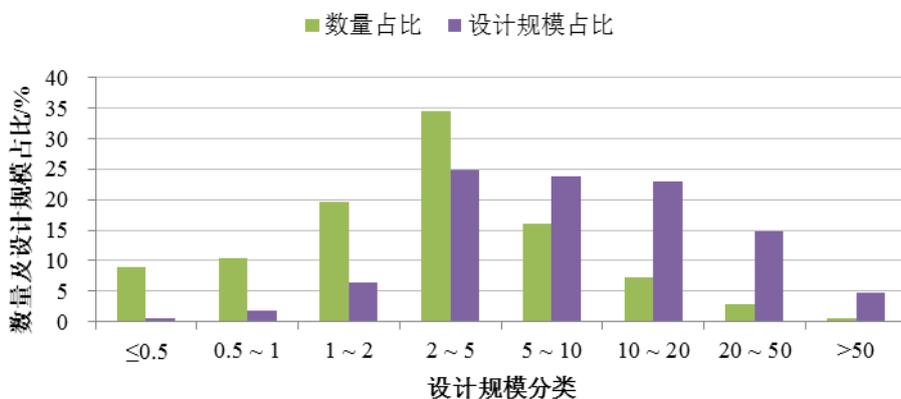


图 A.2-2 广东省不同设计规模城镇污水处理厂数量及总设计规模占比

由图可见，现状广东省城镇污水处理厂以 2~5、5~10、10~20 万吨/日的设计规模分类为主，相应分类的设计规模均超过 500 万吨/日；在数量方面，以 1~2、2~5、5~10 万吨/日的设计规模分类为主，相应分类的城镇污水处理厂数量均达 68 座以上；设计规模介于 2 与 5 万吨/日的占绝对优势，数量及设计规模分别为 146 座和 582.5 万吨/日，占比分别为 34.4%和 24.8%；现状广东省不超过 1 万吨/日的污水处理厂数量和设计规模分别为 82 座和 56.33 万吨/日，占比分别为 19.4%和 2.4%；现状广东超过 20 万吨/日的城镇污水处理厂为 14 座，其中 2 座超过 50 万吨/日。

A.3 广东省城镇污水处理厂工艺特征

为分析广东省城镇污水处理厂现状工艺特征，首先结合全国城镇污水处理信息系统的污水处理主体工艺分类，对污水处理主体工艺进行了分类，分别为 A/O 或 A²/O、氧化沟、SBR、传统活性污泥法和其他，其中其他包括生物膜法、曝气生物滤池、氧化塘等，主要从数量和设计规模及其占比方面，对现状广东城镇污水处理主体工艺总体特征进行了分析，结果见图。

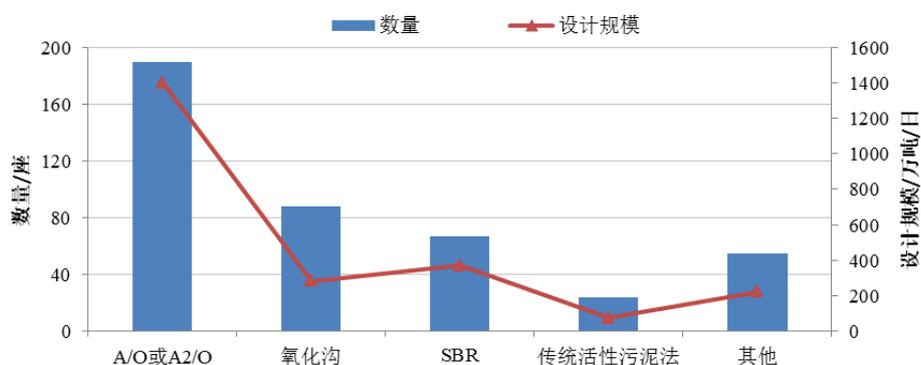


图 A.3-1 广东省不同工艺城镇污水处理厂数量及设计规模

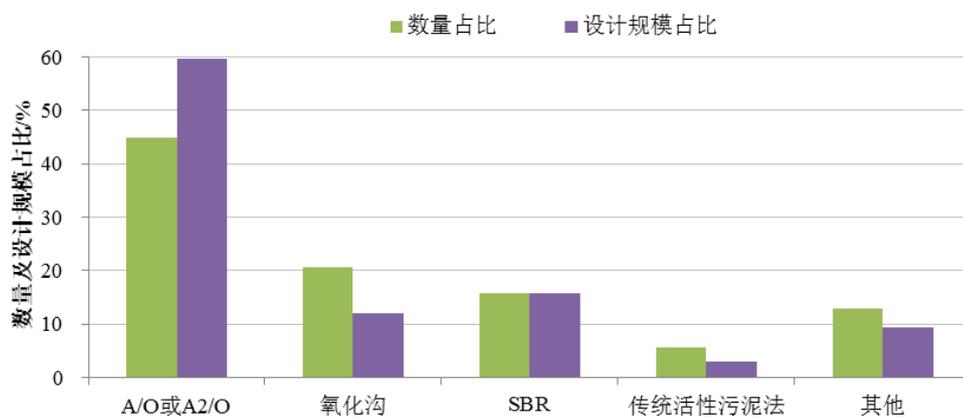


图 A.3-2 广东省不同工艺城镇污水处理厂数量及设计规模占比

由图可见，从数量和设计规模看，通常的三大主流工艺 A²/O、氧化沟、SBR 均为现状广东省城镇污水处理厂主要工艺类型，其中 A²/O 工艺占主导，数量及设计规模占比分别为 44.8%和 59.8%；不同视角下三大主流工艺的排序不同，从污水处理厂数量看，工艺排序为：A²/O>氧化沟>SBR，从设计规模看，工艺排序为：A²/O>SBR>氧化沟；从数量看，其他工艺仅次于 SBR，从设计规模看，其他工艺仅次于氧化沟；现状传统活性污泥法仍占一定比例，数量及设计规模占比分别为 5.7%和 3.1%。

为了解现状广东省不同排放标准下城镇污水处理厂工艺特征，结合排放标准，对现状广东省城镇污水处理厂工艺特征作了进一步分析。

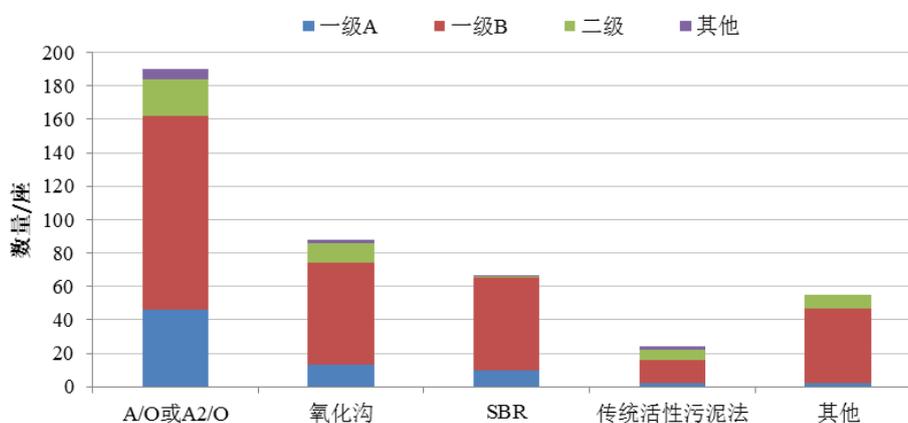


图 A.3-3 广东省不同工艺下不同排放标准城镇污水处理厂数量分布

由图可见，从数量看，现状广东省一级 A 城镇污水处理厂主体工艺仍为三大主流工艺，A²/O 工艺占主导，A²/O、氧化沟和 SBR 的城镇污水处理厂分别为 46、13 和 10 座；对于现状广东省非一级 A 城镇污水处理厂，A²/O、氧化沟、SBR 的城镇污水处理厂分别为 144、75 和 57 座，仍为三大主流工艺。

A.4 广东省城镇污水处理厂进水水质特征

进水水质特征分析是城镇污水处理厂提标改造的重要内容，可为设计进水水质确定、工艺单元选择、工艺方案确定等提供重要依据，因此，为分析现状广东省城镇污水处理厂进水水质特征，基于住建部全国污水处理信息系统 2016 运行数据，对关键水质指标 COD、COD/TN、BOD₅/TN、SS/COD 分别进行了累积频率分析，结果见图。

由图可见，现状广东省城镇污水处理厂进水 COD 浓度较低，86%的城镇污水处理厂低于 200mg/L，48%的城镇污水处理厂低于 150mg/L；现状广东省城镇污水处理厂进水碳源普遍严重不足，进水 BOD₅/TN 低于 4 和 COD/TN 低于 10 的城镇污水处理厂分别占 86%和 91%；进水 SS/COD 超过 0.6 的城镇污水处理厂约占 65%，进水 SS/COD 超过 0.75 的城镇污水处理厂约占 40%，表明现状广东省城镇污水处理厂进水具有典型高 SS/COD 特性，据研究，当进水 SS/BOD₅ 高于 1.2 时，宜设置高效初沉发酵池，在去除进水悬浮物的同时改善生物池进水碳氮比。

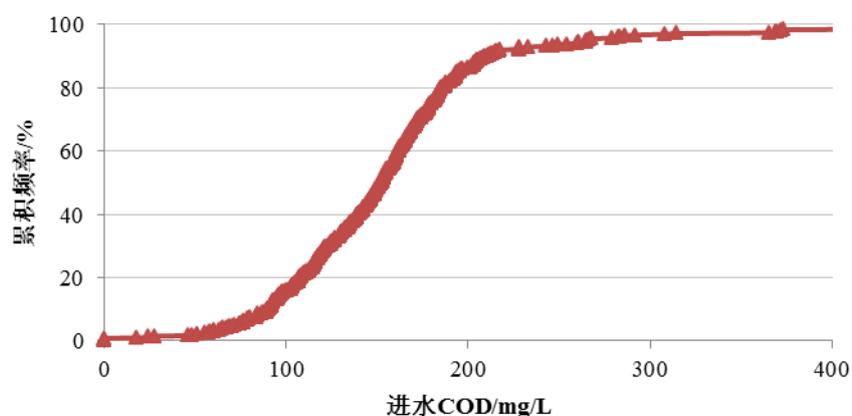


图 A.4-1 广东省城镇污水处理厂进水 COD 累积频率图

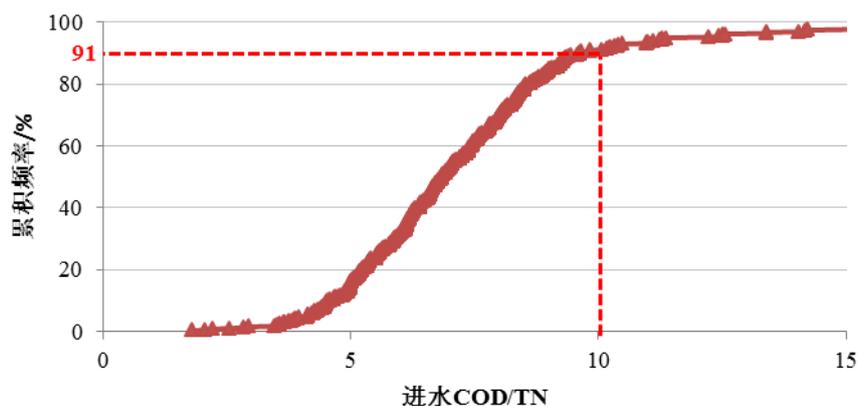


图 A.4-2 广东省城镇污水处理厂进水 COD/TN 累积频率图

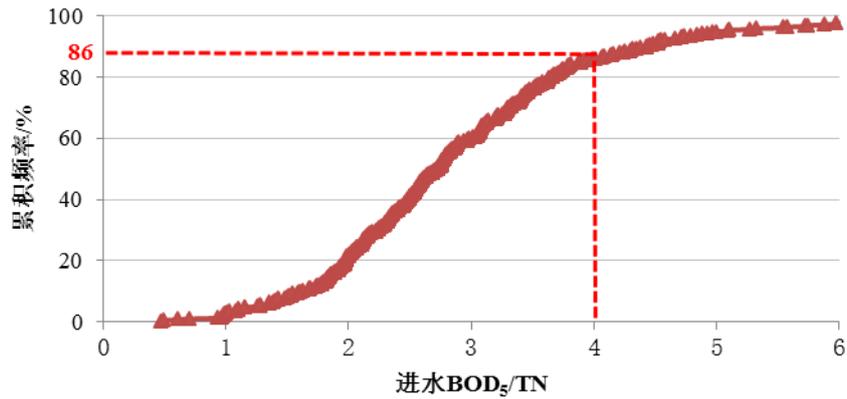


图 A.4-3 广东省城镇污水处理厂进水 BOD₅/TN 累积频率图

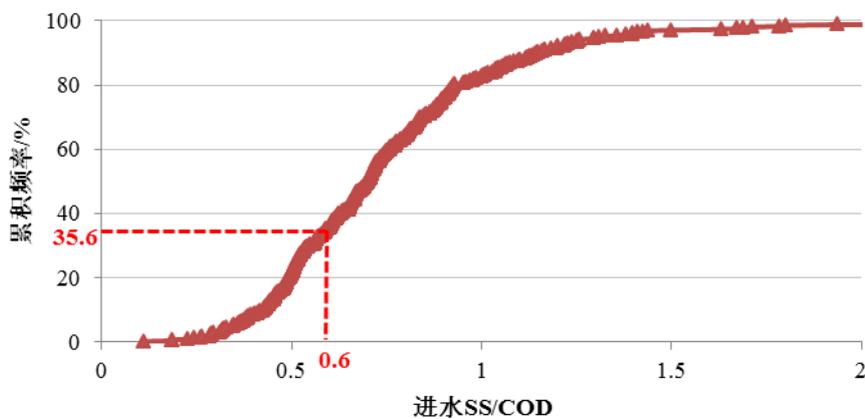


图 A.4-4 广东省城镇污水处理厂进水 SS/COD 累积频率图

A.5 广东省城镇污水处理厂运行负荷率特征

运行负荷率是城镇污水处理厂的重要运行参数，因此，基于住建部全国城镇污水处理信息系统 2016 年运行数据，对广东省现状城镇污水处理厂运行负荷率进行了累积频率分析，结果见图。

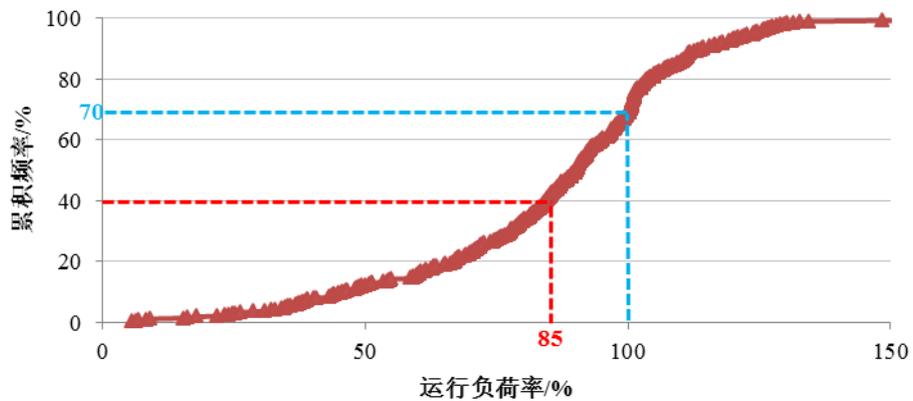


图 A.5-1 广东省城镇污水处理厂运行负荷率累积频率图

由图可见，现状广东省约 30%的城镇污水处理厂的年均运行负荷率超过 100%，处于满负荷运行状态；约 12%的城镇污水处理厂的年均运行负荷率不足 50%，处于低负荷运行状态；现状广东省年均运行负荷率超过 75%和 85%的城镇污水处理厂占比分别为 73%和 60%。

A.6 广东省污水处理厂建设投资及运行电耗物耗特征

A.6.1 建设投资特征

工程投资是城镇污水处理厂提标改造工程建设的重要经济指标，为指导广东省城镇污水处理厂提标改造工程实践，基于住建部全国污水处理信息系统上报数据，从设计规模、排放标准、主体工艺等方面，对广东省已建城镇污水处理厂的吨水投资特征分别进行了分析，结果见图。

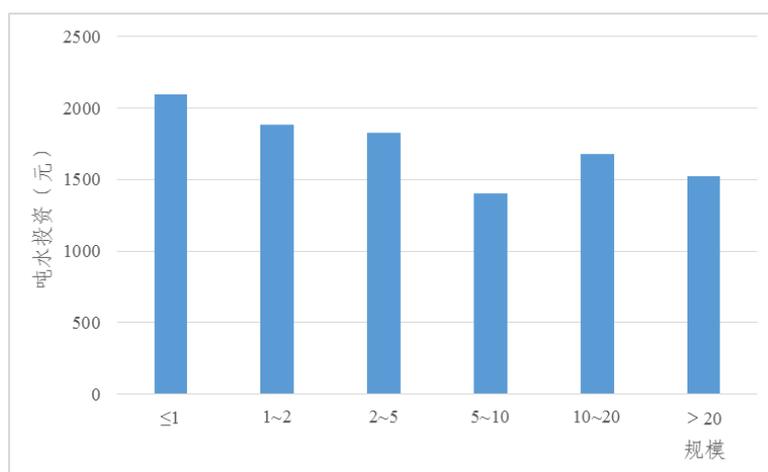


图 A.6-1 不同设计规模下的污水处理厂吨水投资

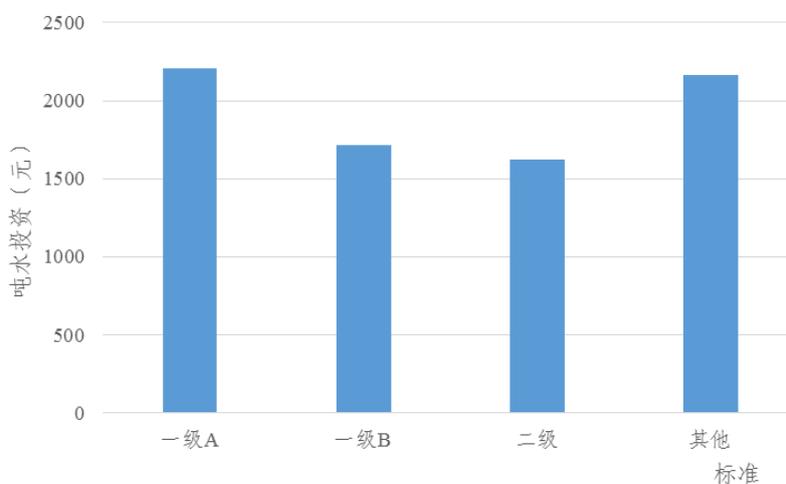


图 A.6-2 不同排放标准下的污水处理厂吨水投资

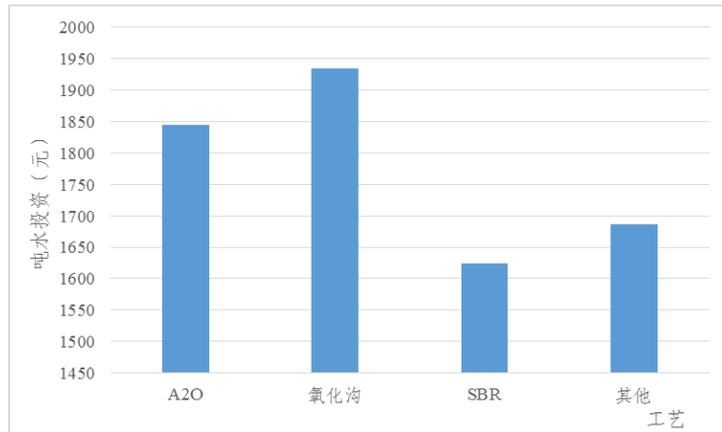


图 A.6-3 不同工艺下的污水处理厂吨水投资

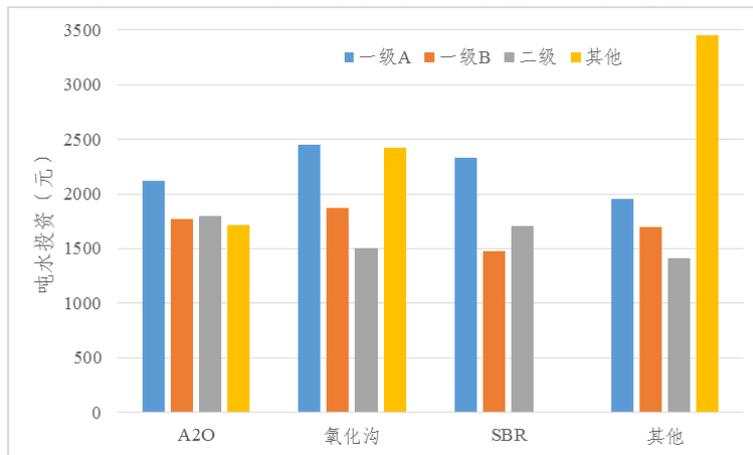


图 A.6-4 不同工艺下污水处理厂吨水投资随排放标准的变化

由图可见，城镇污水处理厂吨水投资随设计规模的增大总体上呈下降趋势，吨水投资变化范围为 1402-2096 元；排放标准是吨水投资的重要影响因素，总体上排放标准越高，吨水投资越高，二级、一级 B、一级 A 标准下的平均吨水投资分别为 1626 元、1718 元和 2205 元，与一级 B 相比，一级 A 污水处理厂的工程投资总体上提高 487 元，增幅为 28%，但不同工艺差别显著，A²/O、氧化沟、SBR 工艺的吨水投资分别提高 352 元、579 元和 851 元，增幅分别为 19.9%、31% 和 57.5%；不同污水处理主体工艺下的吨水投资有所差别，A²/O、氧化沟、SBR 的平均吨水投资分别为 1845 元、1935 元和 1624 元，其中氧化沟工艺的吨水投资最高，SBR 的吨水投资最低，两者吨水投资相差 311 元。

A.6.2 运行电耗特征

运行电耗是城镇污水处理厂运行成本的主要构成因素，为指导广东省城镇污水处理厂一级 A 提标改造工程实践，基于住建部全国污水处理信息系统 2016 年

运行数据，从设计规模、排放标准、主体工艺等方面，对广东省城镇污水处理厂现状运行电耗特征分别进行了分析，结果见图。

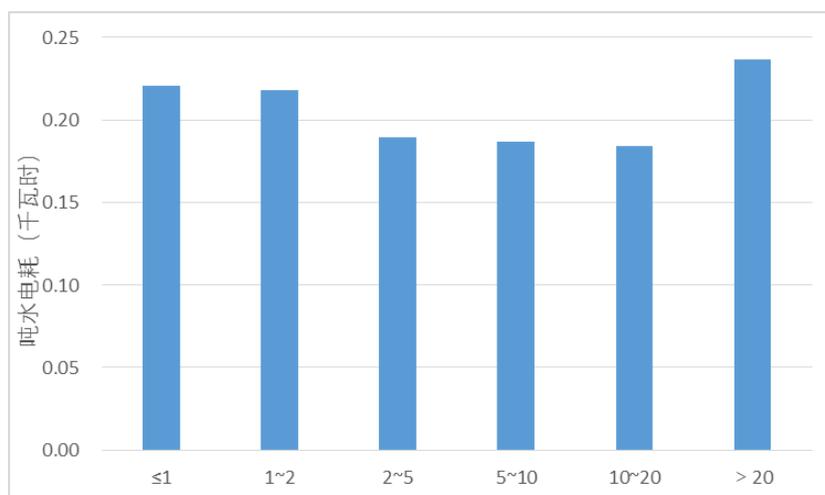


图 A.6-5 不同设计规模下的污水处理厂吨水电耗

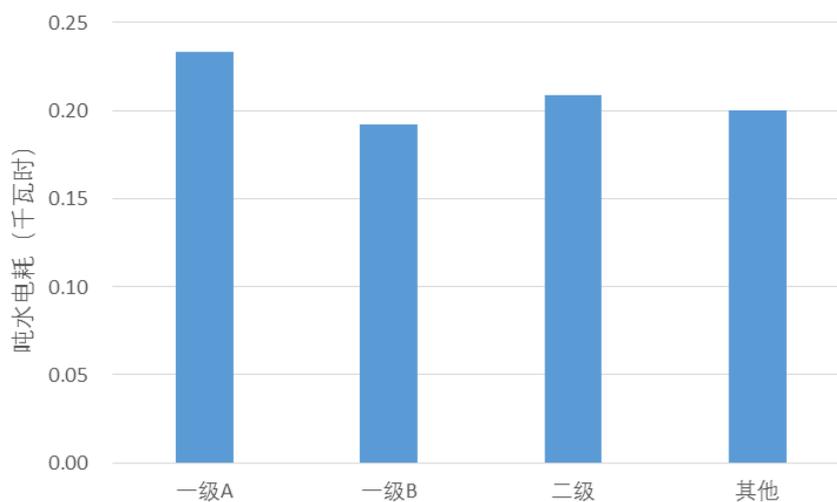


图 A.6-6 不同排放标准下的污水处理厂吨水电耗

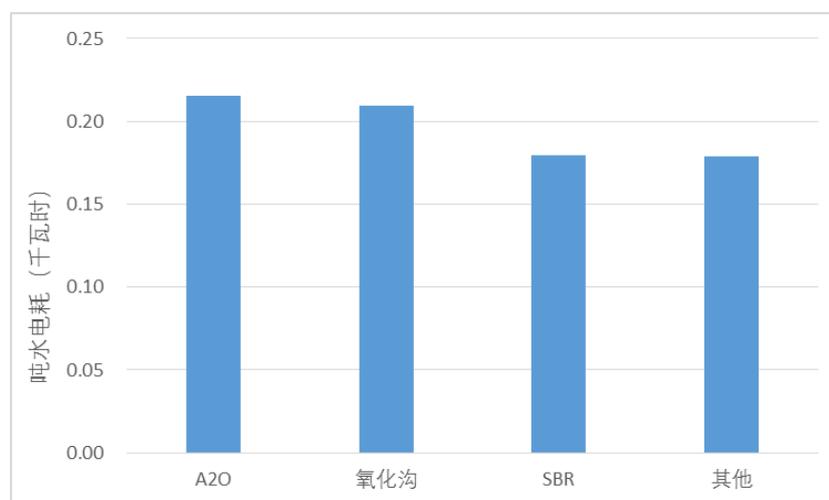


图 A.6-7 不同主体工艺下的污水处理厂吨水电耗

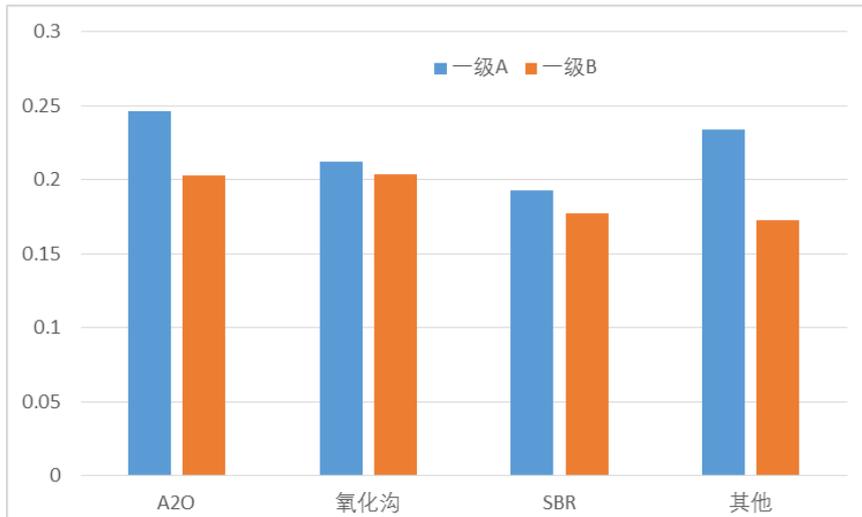


图 A.6-8 不同主体工艺下污水处理厂吨水电耗随排放标准的变化

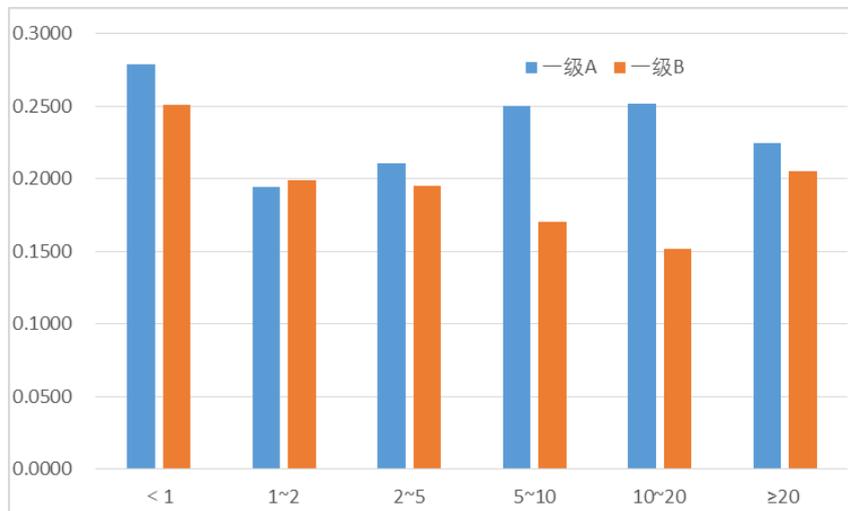


图 A.6-9 不同设计规模下污水处理厂吨水电耗随排放标准的变化

由图可见，城镇污水处理厂吨水电耗与设计规模总体上呈负相关，设计规模超过 20 万吨/日系列的平均吨水电耗并未呈现出规模效应，可能排放标准是其主要影响因素；与一级 B、二级排放标准相比，一级 A 标准污水处理厂的平均吨水电耗总体上有所增加，分别增加 0.041 千瓦时/吨、0.0242 千瓦时/吨，增幅分别为 21.3%和 11.6%，并且不同主体工艺下吨水电耗随排放标准的变化存在差异，与一级 B 标准相比，A²/O、氧化沟和 SBR 下一级 A 的吨水电耗增幅分别为 0.0432 千瓦时/吨、0.008 千瓦时/吨和 0.0151 千瓦时/吨，增幅分别为 21.3%、3.9%和 8.5%；对于三大主流工艺，总体上 A²/O 工艺下的吨水电耗最高，为 0.2154 千瓦时/吨，SBR 工艺的吨水电耗最低，而相同标准下 A²/O 工艺下的吨水电耗通常低于氧化沟，分析原因可能与当前氧化沟工艺的曝气方式设计改变等因素有关。

A.6.3 运行物耗特征

运行物耗是高排放城镇污水处理厂运行成本的重要构成因素，物耗一般包括化学除磷药剂、外加碳源、污泥脱水药剂等，结合广东省城镇污水处理厂生产运行实际，通常 SS 和 TP 是影响出水稳定达到一级 A 标准的主要水质指标，在此仅对广东省现状城镇污水处理厂化学除磷药剂消耗特征进行分析。常用除磷药剂一般有聚合氯化铝、聚合铝铁、硫酸铝、硫酸亚铁等，据研究，在化学协同除磷下，除磷药剂投加量过大会抑制系统生物除磷，为充分利用生物除磷，结合化学除磷原理，应尽量将除磷药剂中金属与磷的摩尔比 (AL/P、Fe/P) 控制在 1 以下。

为指导广东省城镇污水处理厂一级 A 提标改造工程设计与运行，基于住建部全国污水处理信息系统 2016 年运行数据，从设计规模、排放标准、主体工艺方面，对广东省城镇污水处理厂现状除磷药剂消耗特征分别进行分析，结果见图。

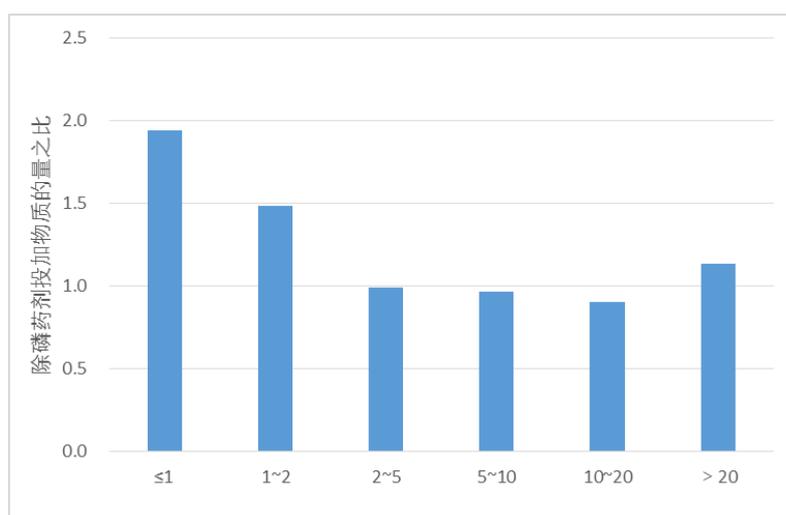


图 A.6-10 不同设计规模下化学除磷药剂投加摩尔比

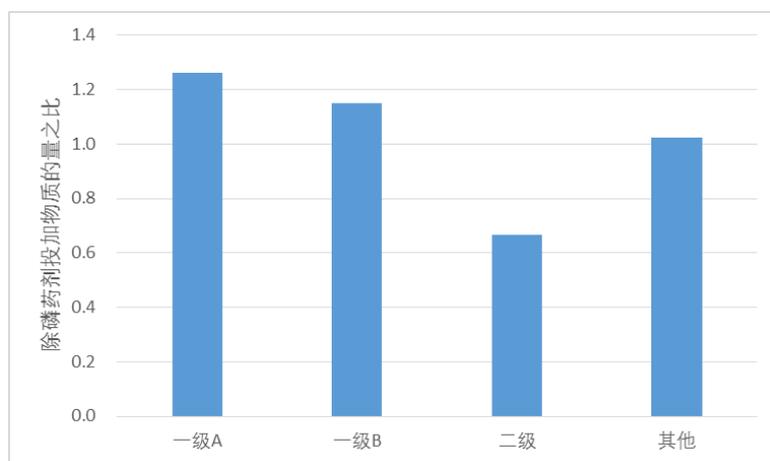


图 A.6-11 不同排放标准下化学除磷药剂投加摩尔比

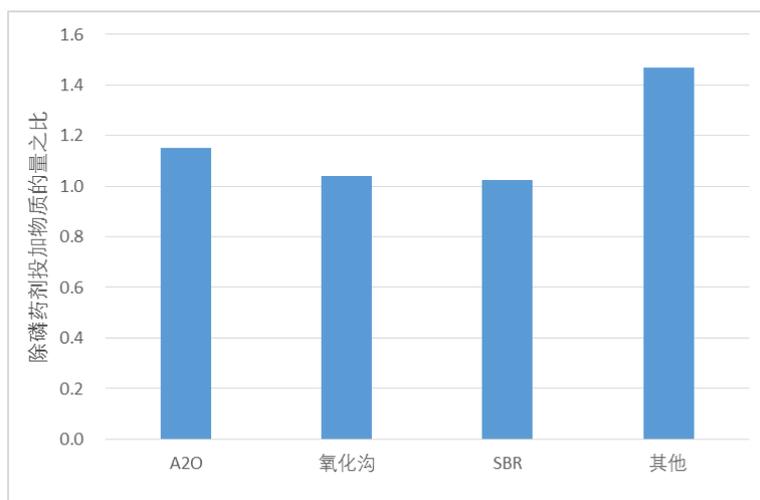


图 A.6-12 不同工艺下化学除磷药剂投加摩尔比

由图可见,2万吨/日以下的广东省城镇污水处理厂的除磷药剂投加摩尔比基本在 1.5 以上,其中 1 万吨/日以下的污水处理厂除磷药剂投加摩尔比高达 1.94,表明总体上 2 万吨/日以下的广东省城镇污水处理厂现状存在明显的除磷药剂投加过量问题,在化学协同除磷下,会抑制生物系统生物除磷;现状一级 A、一级 B 标准城镇污水处理厂的除磷药剂投加摩尔比均在 1 以上,并且 A²/O 工艺下的城镇污水处理厂除磷药剂投加摩尔比相对较高,表明总体上广东省城镇污水处理厂现状除磷药剂投加过量问题较为普遍,生产运行中应合理控制除磷药剂投加量,充分发挥生物除磷作用,同时实现降低除磷药剂消耗。

附录 B 水质调查分析与工程模拟试验

B.1 进水水质调查分析的必要性

进水水质特性和出水水质标准的确定是污水处理工艺方案选择的关键环节，也是我国当前污水处理工程设计中存在的薄弱环节之一。调查结果表明，设计进水水质水量偏离实际进水水质水量的情况较为普遍。

因此，有必要对拟建城镇污水处理厂服务范围内主要污染源的水质特性或现状城镇污水处理厂进水水质特性进行调查分析，为污水处理工艺的选择或提标改造方案的确定提供可靠依据。城镇污水水质特性的调查分析工作可由相关设计研究单位及环评编制单位进行。

B.2 提标改造工程的水质调查分析

(1) 现状满负荷或接近满负荷运行的城镇污水处理厂

依据现状城镇污水处理厂近年内实测的进水水质数据，运用数理统计方法，分析不同污染物指标（COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP 等）的变化规律，确定需要特别关注的主要污染物；并对进水水质中 SCOD/COD、BOD₅/COD、BOD₅/TN、SS/BOD₅、TN 中可氨化和溶解性不可氨化有机氮成分、水温等水质特性进行调研测试，并结合当前的进水和出水水质浓度，分析影响一级标准 A 标准稳定达标的主要因素，为具体提标改造技术措施的提出提供科学依据。

(2) 对现状未达负荷运行的城镇污水处理厂

对于未达负荷运行的城镇污水处理厂，不仅要调查现状进水水质，而且还要对达到满负荷运行时的进水水质进行预测分析。调查分析内容同前。

当现状进水水质浓度低于或接近于设计进水水质浓度时，应预测满负荷运行时进水水质浓度，并按照预测结果确定提标改造技术方案。进水水质浓度预测时应综合考虑以下因素：服务范围内污水管网系统的变化、主要污染物类型及排放量的变化等。

当现状进水水质浓度高于设计进水水质浓度时，应首先分析现状水质浓度偏高的原因，结合满负荷运行时可能出现的水质变化，按照最不利情况研究确定提标改造技术方案。

B.3 新建（扩建）工程的水质调查分析

(1) 新建工程

对服务范围内的主要排水户和排污口进行水质监测,通常包括:较大居民区、工业企业、公共建筑及餐饮娱乐设施,还应对雨污合流管的排出口和纳污河道等进行水质监测;了解服务范围内的面源污染情况以及面源污染所产生的 N、P 污染指标的情况;应调查当地现状污水处理厂的进水水质变化情况。

在此基础上,根据服务范围内的总体规划或排水专项规划,预测水质发展趋势,综合确定新建城镇污水处理厂的设计进水水质。并对 SCOD/COD、BOD₅/COD、BOD₅/TN、SS/BOD₅、TN 中可氨化和溶解性不可氨化有机氮成分、水温等污水水质特性进行调研分析,为污水处理工艺的选择提供科学依据。

(2) 扩建工程

扩建工程水质调查分析应参照 B.2 (2) 的水质调查分析方法。

B.4 工程模拟试验

(1) 在进水水质调查分析的基础上,依据出水水质标准,确定污水处理程度,并根据不同污染物的去除程度要求,选择适宜的多种污水处理工艺方案进行比较分析,提出推荐污水处理工艺。进水水质构成较特殊、较复杂、或采用新工艺时,应进行工程模拟试验或中试研究。

(2) 工程模拟试验或中试研究结束后,应整理试验报告。报告中的主要内容至少应包括:进水水量水质特性描述、试验采用的运行参数、主要污染物指标的去除效率及影响因素分析、出水水质指标、推荐的工艺设计参数及运行控制要求。

(3) 工程试验的主要检测方法:具体污染物指标的测定方法可参考《水和废水监测分析方法》(第四版)。

附录 C 广东省城镇污水处理厂设计进水水质建议

设计进水水质的确定是城镇污水处理厂工程设计的重要内容，进水水质确定是否合理直接影响到工程投资、工艺运行效果和配套设备的能效等。

基于《全国城镇污水信息管理系统》，对广东省正常运行污水处理厂进水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP、SS 六项常规指标年均值及其分布特征进行分析，结合青岛、无锡、济宁、常州等典型城市排水系统沿程污染特征分析，并考虑城镇排水管网建设运维现状以及国内外行业发展趋势，取涵盖 95% 广东省城镇污水处理厂现状实际进水浓度的数值作为广东省城镇污水处理厂设计进水水质推荐值。

设计进水水质推荐值是从总体上对广东省城镇污水处理厂进水水质的确定，对于具体新建工程，设计进水水质推荐值可作为参考；对于具体提标改造工程，应结合实际，对污水处理厂历年进水水质进行统计分析，并结合未来配套排水管网修复完善情况，进行合理确定。

表 C.1 广东省污水处理厂进水水质设计推荐值

水质指标	有效样本	均值	设计推荐值
COD	424	158	265
BOD ₅	395	64	123
NH ₃ -N	420	15	23
TN	399	22	34
TP	419	2.7	5.4
SS	417	115	230

附录 D 一级 A 提标建设参考标准

D.1 建设原则

(1) 提标改造工程的建筑标准应与已建污水处理厂相一致；辅助生产用房和生产设施用房应尽量利用现有设施，管理用房不再增加；原则上不考虑新增劳动定员。

(2) 提标改造工程的建设用地，必须坚持科学合理、节约用地的原则，执行国家土地管理的有关规定，提高土地利用率。土地征用应以近期为主，预留远期发展控制用地。

(3) 提标改造工程投资估算应按国家及省现行的有关规定编制；评估或审批项目可行性研究报告的投资估算时，可参照本附录所列指标，但应根据工程实际内容以及价格变化的情况，进行调整后使用。

D.2 技术经济指标

(1) 提标改造工程单位水量的建设用地指标

D.1 一级 A 提标改造用地指标

设计规模 (万 m ³ /d)	提标改造用地[m ² /(m ³ ·d)]
20 ~ 50	0.20 ~ 0.15
10 ~ 20	0.25 ~ 0.20
5 ~ 10	0.35 ~ 0.25
1 ~ 5	0.40 ~ 0.35
≤1	0.40 ~ 0.50

注：① 建设规模大的取下限，规模小的取上限；

② 表中用地指标是指在二级处理的基础上深度处理增加的用地。如强化生物处理技术采用增加生物池容积时，另增加的用地面积按原生物池面积的1/3控制。

(2) 提标改造项目投资估算指标

D.2 一级 A 提标改造工程项目投资估算指标

设计规模 (万 m ³ /d)	投资估算指标[元/(m ³ ·d)]
20 ~ 50	480 ~ 420
10 ~ 20	550 ~ 480
5 ~ 10	660 ~ 550

1~5	830~660
≤1	950~830

注：①表中数据指工程直接费用；

②表中数据未包括特殊地质情况处理费用；

③建设规模大的取下限，规模小的取上限；

④投资项目按现有污水处理厂出水达一级B标准，改造后达到一级A标准考虑；

⑤二级处理主体工艺按生物处理考虑，深度处理按混凝+沉淀+过滤+消毒考虑。

(3) 提标改造项目新增电耗指标为 0.04~0.29 kW·h/m³。

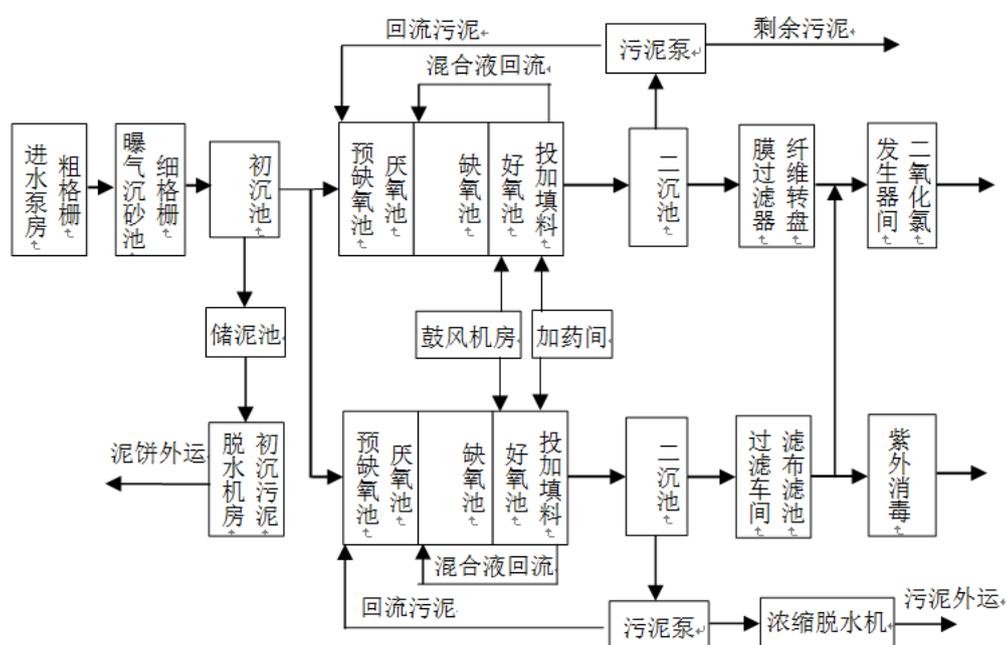
附录 E 城镇污水处理厂一级 A 提标建设典型案例

E.1 无锡芦村污水处理厂一级 A 提标建设工程

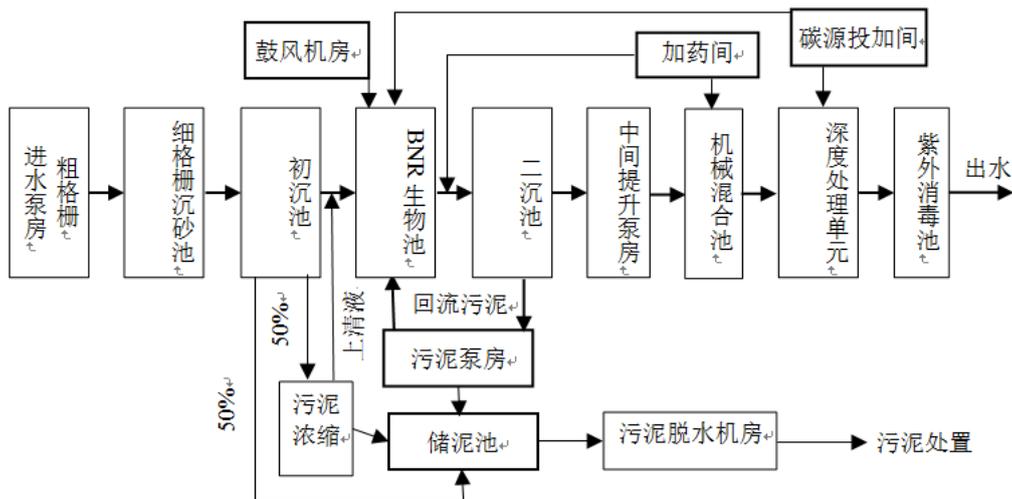
E.1.1 工程规模

芦村污水处理厂一、二、三期一级 A 提标改造工程总设计规模为 20 万吨/日，其中一、二期设计规模均为 5 万吨/日，三期设计规模均为 10 万吨/日；四期一级 A 新建工程设计规模均为 10 万吨/日。

E.1.2 工艺流程



E.1-1 芦村污水处理厂提标改造工艺流程图



E.1-2 芦村污水处理厂四期新建工程工艺流程图

E.1.3 提标建设主要措施

E.1.3.1 一级 A 提标改造工程

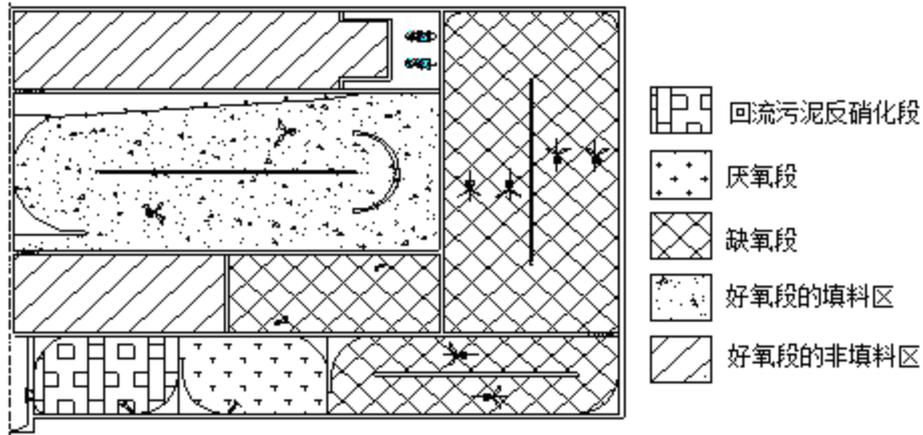
(1) 优化原生物池功能分区，以三期为例，将原厌氧段分为回流污泥反硝化段、厌氧段和缺氧段，体积比为 1:1:2，回流污泥反硝化段和厌氧段各增设一台潜水搅拌机；

(2) 为确保低温季节出水氨氮稳定达标，考虑到工程用地极为紧张，采用悬浮填料强化硝化技术，将原推流式好氧池中段通过水力沟通改造为环沟型池型，作为悬浮填料投加区，并增设 2 台水下推进器，确保填料充分流化；

(3) 为确保出水 TN 稳定达标，增设碳源投加车间，碳源投加点设置在缺氧池，设计投加碳源为乙酸钠；

(4) 增设滤布滤池深度处理单元，确保出水 SS 稳定达标；

(5) 设计除磷方式采用生物除磷与化学协同除磷相结合，除磷药剂为 PAC，投加点设置在二沉池配水井处。



E.1-3 芦村污水处理厂三期提标改造工程 8#生物池平面布局图

E.1.3.2 一级 A 新建工程

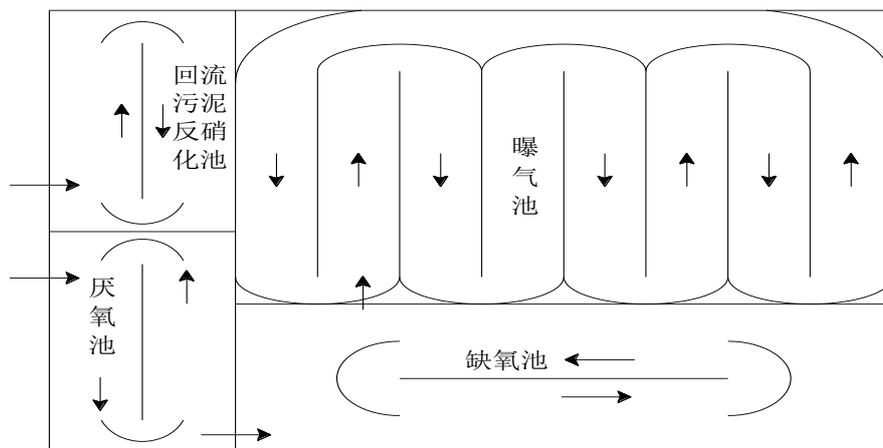
(1) 考虑到进水水质波动较大，采用带回流污泥反硝化的环沟型改良 A²/O 工艺，提高系统的抗冲击负荷能力；

(2) 设置回流污泥反硝化池 (1.47h)，以保障后续厌氧池的厌氧环境，进而充分利用生物除磷；

(3) 为提高缺氧池内源反硝化能力，缺氧池设计水力停留时间较长 (6.73h)，并且在缺氧池设置碳源投加点；

(4) 深度处理单元设置活性砂滤池和反硝化滤池两个平行系列；

(5) 反硝化滤池为重力流滤池，介质为大粒径石英砂，主要去除 SS 和 TP (通过化学加药微絮凝直接过滤)，当出水 TN 不能达标时 (主要为冬季)，补充少量碳源，转换成带反硝化功能的滤池使用。



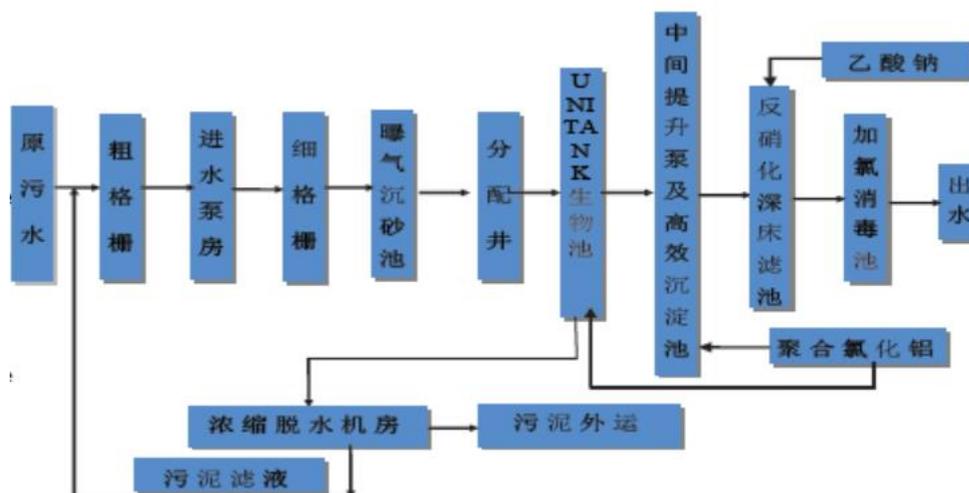
E.1-4 四期新建工程环沟型生物池示意图

E.2 广东大沥城南污水处理厂一级 A 提标建设工程

E.2.1 工程规模

一级 A 提标改造工程设计规模为 1.5 万吨/日。

E.2.2 工艺流程



E.2-1 提标改造工程工艺流程

E.2.3 提标建设主要措施

- (1) 充分利用原有 UNITANK 生物池；
- (2) 增加曝气系统曝气量，提高好氧池 DO 浓度，优化现有 UNITANK 生物池硝化效果；
- (3) 为确保出水 SS、TP、TN 稳定达标，增设深度处理单元，深度处理工艺采用高效沉淀池+反硝化深床滤池；
- (4) 高效沉淀池去除 SS、TP，反硝化滤池主要起过滤作用，当二级出水 TN 高于 15mg/L 时，开启碳源投加系统。