

中国工程建设标准化协会标准

T/CECS XXXXX-202X

城镇污水难降解有机物强化去除技术指南

Technical guidelines for enhanced removal process of refractory organic
compounds in municipal wastewater treatment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国工程建设标准化协会 发布

中国工程建设标准化协会标准

城镇污水难降解有机物强化去除技术指南

Technical guidelines for enhanced removal process of refractory organic
compounds in municipal wastewater treatment

T/CECS ***-20**

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：20** 年 **月 ** 日

中国 XX 出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2022]13 号）的要求，编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外有关标准，并在广泛征求意见的基础上，编制本指南。

本指南共分 7 章，主要技术内容包括：总则、难降解有机物强化去除技术、臭氧氧化设计、颗粒活性炭（焦）吸附设计、粉末活性炭吸附设计、其他工艺设计、运行管理。

本指南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，由中国市政工程华北设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。本指南在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：天津市河西区气象台路 99 号，邮政编码：300074，电话：022-23545162），以供修订参考。

主编单位：中国市政工程华北设计研究总院有限公司

参编单位：天津群峰环保科技有限公司

天津市艾盟科技发展有限公司

金科环境股份有限公司

苏伊士环境科技（北京）有限公司

无锡市友信赢特环境工程有限公司

天津滨海新区环塘污水处理有限公司

天津大学

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

天津创业环保集团股份有限公司

主要起草人：

目 次

第一章 总则	1
第一节 编制目的.....	1
第二节 适用范围.....	1
第二章 难降解有机物强化去除技术	2
第一节 难降解有机物特征.....	2
第二节 技术类型.....	2
第三节 技术应用原则.....	9
第三章 臭氧氧化设计	11
第一节 设计要点.....	11
第二节 发生系统.....	11
第三节 接触投加系统.....	13
第四节 尾气处理系统.....	16
第五节 控制系统.....	17
第四章 颗粒活性炭（焦）吸附设计	19
第一节 设计要点.....	19
第二节 吸附单元.....	20
第三节 炭（焦）冲洗.....	22
第四节 炭（焦）补换.....	23
第五节 炭（焦）再生.....	24
第五章 粉末活性炭吸附设计	25
第一节 设计要点.....	25
第二节 吸附单元.....	25
第三节 储料系统.....	26
第四节 投加系统.....	27
第六章 其他工艺设计	29
第一节 臭氧-生物滤池.....	29
第二节 臭氧溶气气浮.....	29
第三节 纳滤.....	30
第七章 运行管理	32
第一节 运行与维护.....	32
第二节 检测与监测.....	35
附录 A 天津市北塘污水处理厂案例	36
附录 B 唐山市南堡经济技术开发区污水处理厂提标工程案例	38
附录 C 长春市南部污水处理厂提标扩建工程案例	41
附录 D 晋江泉荣远东污水处理厂案例	43

附录 E 泰兴经济技术开发区污水处理厂案例	45
附录 F 西安市第六污水处理厂提标改造工程案例	47
参考资料.....	49

Contents

Chapter 1 General provisions	1
Section 1 Purpose	1
Section 2 Scope of application	1
Chapter 2 Enhanced removal technology for refractory organic matter	2
Section 1 Characteristics of refractory organic matter	2
Section 2 Technological type.....	2
Section 3 Principle of technology application.....	9
Chapter 3 Ozonation design	11
Section 1 Key points of design.....	11
Section 2 Generation system	11
Section 3 Contact and dosing system	13
Section 4 Off-gas treatment system.....	16
Section 5 Control system.....	17
Chapter 4 Granular activated carbon (coke) adsorption design	19
Section 1 Key points of design.....	19
Section 2 Adsorption unit.....	20
Section 3 Carbon (coke) flush.....	22
Section 4 Carbon (coke) replacement.....	23
Section 5 Carbon (coke) regeneration	24
Chapter 5 Powder activated carbon adsorption design	25
Section 1 Key points of design.....	25
Section 2 Adsorption unit.....	26
Section 3 Storage system.....	27
Section 4 Dosing system	27
Chapter 6 Other process design	29
Section 1 Ozone-biological filter	29
Section 2 Ozone dissolved air floatation.....	30
Section 3 Nanofiltration	31
Chapter 7 Operation and management	32
Section 1 Operation and maintenance	32
Section 2 Detection and monitoring.....	35
Appendix A Case of tianjin betang wastewater treatment plant	36
Appendix B Case of tangshan nanpu economic and technological development zone wastewater treatment plant upgrading engineering	38
Appendix C Case of changchun nanbu economic and technological development zone wastewater treatment plant upgrading and extension engineering	41

Appendix D Case of jinjiang quanrong yuandong wastewater treatment plant	43
Appendix E Case of taixing economic and technological development zone wastewater treatment plant	45
Appendix F Case of xi'an sixth wastewater treatment plant upgrading engineering.....	47
Reference	49

第一章 总则

第一节 编制目的

为提升我国城镇污水难降解有机物强化去除工程的工艺设计和运行管理水平，依据国家和行业相关法律法规和标准规范，编制本指南。

第二节 适用范围

本指南适用于城镇污水处理厂深度处理以及再生水处理工程中难降解有机物强化去除工艺设计和运行管理，也可供工业园区污水处理厂建设和运行参考。

第二章 难降解有机物强化去除技术

第一节 难降解有机物特征

难降解有机物通常指在自然条件下难于被微生物降解分解的有机化学物质，根据物理形态可分为溶解性难降解有机物和非溶解性难降解有机物，其中溶解性难降解有机物为能通过孔径为 0.45 μm 滤膜的有机物。

城镇污水二级生化处理出水中有机物构成受进水水源、二级处理工艺类型及其参数、运行管理效果等影响，按照来源一般可分为微生物代谢产物、天然有机物及人工合成类有机物。微生物代谢产物主要为生物处理过程中微生物通过合成与分解代谢产生的可溶性代谢产物和胞外聚合物，可溶性代谢产物主要为蛋白质、多糖、核酸、胞外酶及有机酸等，具有亲水性，分子量一般大于 100kDa；天然有机物主要为腐殖酸类、富里酸类等，具有疏水性，分子量一般小于 10kDa，且多小于 1kDa；人工合成类有机物主要为人类在生活或生产中所产生的有机物，如药品类、化妆品类等。

城镇污水经二级生化处理后出水中的有机物一般公认为难降解有机物，且大部分为溶解性。溶解性难降解有机物是难降解有机物去除的主要对象和难点，本指南范畴的城镇污水难降解有机物指溶解性难降解有机物。

第二节 技术类型

城镇污水难降解有机物强化去除常用技术按照工艺原理可分为氧化技术、吸附技术、膜过滤技术及组合技术等。本指南中氧化技术为臭氧氧化技术，吸附技术为活性炭（焦）吸附技术，膜过滤技术为纳滤，组合技术为臭氧-生物滤池和臭氧溶气气浮技术。

一、臭氧氧化技术

1. 技术特征

臭氧是一种氧化能力仅次于氟和羟基自由基（ $\cdot\text{OH}$ ）的强氧化剂，能够与多种类型有机物或官能团发生反应，如烯烃类化合物、炔烃类化合物、芳香族化合物、杂环化合物、 $\text{N}=\text{N}$ 、 $\text{C}=\text{N}$ 、 $\text{C}-\text{Si}$ 、 $-\text{OH}$ 、 $-\text{SH}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{CHO}$ 等。臭氧对烯烃类双键化合物氧化能力最强，其次是胺类和碳氢双键化合物，再次是炔烃类三键化合物、杂环化合物、硫化物、磷化物等，对醇、醛、醚及碳氢单键化合物等氧化能力最弱。

臭氧与有机物反应通常分为两种类型：一是臭氧分子与有机物发生的直接反应，具有反应速度缓慢、有明显选择性等特点；二是臭氧通过水中的自由基引发剂和促进剂分解生成的 $\cdot\text{OH}$ 与有机物发生的间接反应，具有反应能力强、反应速度快、无选择性等特点。臭氧氧化反应过程通常是直接反应和间接反应并存，有机物氧化程度和去除效率主要受有机

物类型及浓度、水中引发剂、促进剂或抑制剂种类及浓度等影响。引发剂和促进剂主要包括过氧化氢、催化剂、UV 紫外线、 $\text{OH}\cdot$ 、甲醇、甲酸和某些腐殖酸类物质，水中 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 NO_3^- 、叔丁醇以及一些腐殖酸类物质等抑制剂可通过络合吸附和捕获 $\cdot\text{OH}$ 方式影响间接氧化效率。

臭氧对有机物氧化难于达到生成 CO_2 和 H_2O 的完全无机化阶段，易完成部分氧化，生成甲醛、丙酮酸、丙酮醛和乙酸等主要中间产物。

臭氧氧化技术成熟度高，处理效果相对稳定，兼具去除有机物、脱色、消毒及除嗅功能，可有效去除内分泌干扰物、抗生素等部分微量新污染物。臭氧自身及在水中都不稳定，需现场制备，几乎对所有的金属都有腐蚀作用。臭氧氧化技术投资和运行费用较高、设备复杂、维修保养要求高。

2. 工艺分类

臭氧氧化技术可分为臭氧氧化和臭氧高级氧化。臭氧高级氧化是臭氧在某些物质的作用下在水中分解生成 $\cdot\text{OH}$ ，以 $\cdot\text{OH}$ 为主要氧化剂与有机物发生反应，包括臭氧/过氧化氢氧化、臭氧/紫外氧化和臭氧催化氧化等技术。

(1) 臭氧氧化

臭氧氧化是臭氧与有机物直接反应，通过产生的活性氧和 $\cdot\text{OH}$ 破坏有机物结构，氧化分解水中的有机物。

臭氧氧化技术系统组成及工艺流程如图 2-1 所示，包括臭氧发生系统、臭氧投加系统、接触反应系统、尾气处理系统和控制系统。城镇污水二级生化处理出水经前处理单元去除悬浮物等后进入臭氧接触反应池，同时臭氧发生系统制备的臭氧通过投加系统通入接触反应池，进行氧化反应，臭氧尾气经尾气处理系统后排放或回收，接触反应池出水进入后续处理单元。

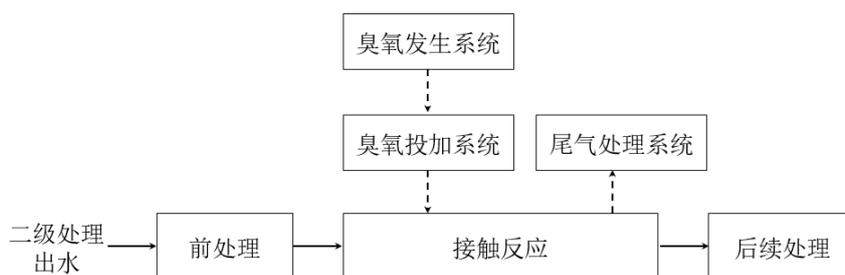


图 2-1 臭氧氧化技术系统组成及工艺流程

(2) 臭氧/过氧化氢氧化

臭氧/过氧化氢氧化是通过引入过氧化氢促进臭氧分解，反应生成过氧化物自由基，并通过自由基的链式反应生成 $\cdot\text{OH}$ ， $\cdot\text{OH}$ 破坏有机物结构，氧化分解水中的有机物。

臭氧/过氧化氢氧化技术系统组成及工艺流程如图 2-2 所示，除包括臭氧氧化技术的组成系统外，需设置过氧化氢储存和投加系统。城镇污水二级生化处理出水经前处理单元去

除悬浮物等后进入臭氧/过氧化氢接触反应池，同时臭氧发生系统制备的臭氧通过投加系统与过氧化氢投加系统投加的过氧化氢，按照一定比例混合后投加到接触反应池，进行氧化反应，臭氧尾气经尾气处理系统后排放或回收，接触反应池出水进入后续处理单元。

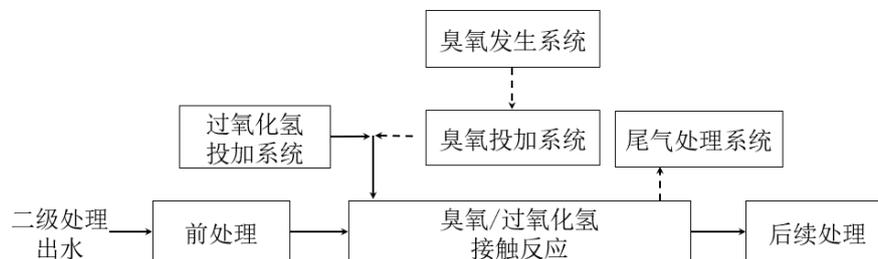


图 2-2 臭氧/过氧化氢氧化技术系统组成及工艺流程

(3) 臭氧/紫外氧化

臭氧/紫外氧化是投加臭氧的同时辅以紫外光照射，臭氧在紫外线的照射下光解引发生过氧化氢衍生出·OH，·OH 破坏有机物结构，氧化分解水中的有机物。紫外灯一般采用低压或中压，低压紫外线灯波长 254nm，中压紫外线灯波长 200nm~400nm，有效能量大于等于 250mJ/cm²。

臭氧/紫外氧化技术系统组成及工艺流程如图 2-3 所示，除包括臭氧氧化技术的组成系统外，需设置紫外灯及其控制装置等。城镇污水二级生化处理出水经前处理单元去除悬浮物后进入臭氧/紫外接触反应池，同时臭氧发生系统制备的臭氧通过投加系统通入臭氧/紫外接触反应池，开启紫外灯照射，进行氧化反应，臭氧尾气经尾气处理系统后排放或回收，接触反应池出水进入后续处理单元。

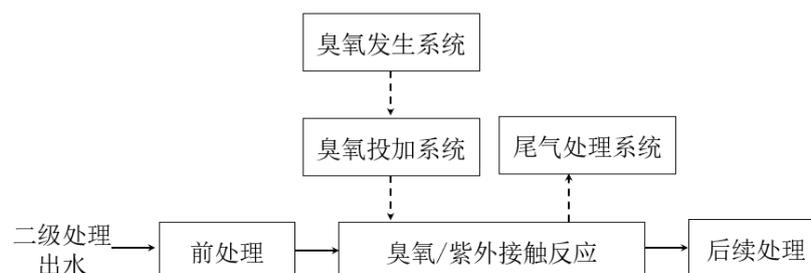


图 2-3 臭氧/紫外氧化技术系统组成及工艺流程

(4) 臭氧催化氧化

臭氧催化氧化是臭氧在催化剂的作用下分解产生新生态氧原子，在水中形成具有强氧化作用的·OH，·OH 破坏有机物结构，氧化分解水中的有机物。

臭氧催化氧化按照催化剂形态可分为均相催化氧化和非均相催化氧化。臭氧均相催化氧化的催化剂和反应物处于同一相界，催化剂一般为溶解态的过渡金属离子，如 Cu²⁺、Zn²⁺、Fe²⁺、Mn²⁺、Ni²⁺和 Co²⁺等；臭氧非均相催化氧化的催化剂和反应物处于不同相界，催化剂一般为固态形式，如负载在载体上的金属氧化物或金属等。

臭氧催化氧化技术系统组成及工艺流程如图 2-4 所示，城镇污水二级生化处理出水经前处理单元去除悬浮物等后进入臭氧催化氧化接触反应池，同时臭氧发生系统制备的臭氧通过臭氧投加系统通入催化氧化接触反应池，在催化剂作用下进行氧化反应，臭氧尾气经尾气处理系统后排放或回收，接触反应池出水进入后续处理单元。

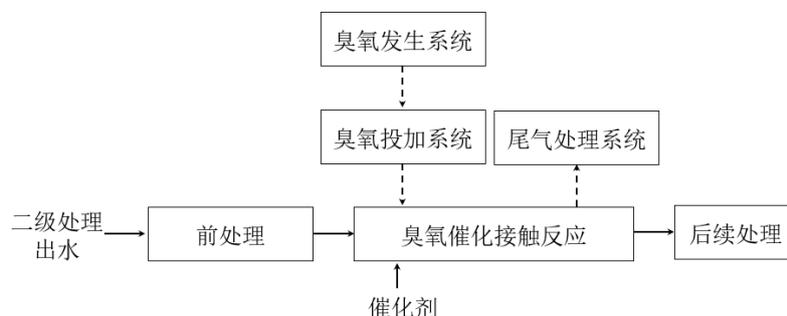


图 2-4 臭氧催化氧化技术系统组成及工艺流程

3. 适用条件

臭氧氧化技术一般用于水质比较稳定，难降解有机物要求的去除量低，或去除残留新污染物的城镇污水深度处理；臭氧高级氧化技术一般用于水质相对复杂、波动性大，需缩短接触反应时间，或降低臭氧投加量，提高难降解有机物去除效率稳定性的城镇污水深度处理。

二、活性炭（焦）吸附技术

吸附是物质利用其孔隙结构和比表面积所形成的表面力场将周围介质（液体或气体）中的分子或离子附着在其表面的现象。活性炭（焦）吸附去除有机物是通过活性炭（焦）与水接触，水中的有机物被活性炭（焦）孔隙捕获，完成对难降解有机物的选择性吸附。

1. 技术特征

活性炭按照生产原料可分为果壳活性炭、木质活性炭和煤质活性炭，污水深度处理一般使用机械强度较高的煤质活性炭。活性焦是以兰炭等为原料，经过高温蒸汽活化形成的一种煤质活性炭。由于原料和制造方法不同，活性焦与活性炭的孔径分布差异较大，活性焦内部孔隙一般比活性炭大，中孔比例更为发达，比表面积比活性炭低。

活性炭（焦）吸附有机物具有选择性，吸附性能与炭（焦）物理结构和表面化学性质、有机物性质及 pH、水温、接触时间等反应条件相关。有机物分子量大小与炭（焦）孔径的匹配性越好吸附效率越高；活性炭（焦）对非极性和弱极性、亲水性差的有机物吸附性能较强，对极性、亲水性好的有机物吸附性能较差。

活性炭（焦）吸附技术成熟度高，处理效果稳定；在有机物去除负荷高时，颗粒炭（焦）吸附处理投资和运行费用相对较高；炭（焦）吸附饱和后需再生或更换，有可能产生二次污染。

2. 工艺分类

活性炭有粉末和颗粒两种形式，粉末活性炭可与混凝沉淀（澄清）、生物处理等结合使用；活性焦一般应用颗粒形式，极少工程也采用粉末形式。

（1）颗粒活性炭（焦）吸附技术

采用颗粒活性炭（焦）为吸附剂的吸附被称为颗粒活性炭（焦）吸附，颗粒活性炭（焦）吸附技术系统组成及工艺流程如图 2-5 所示，包括炭（焦）吸附单元、冲洗系统及炭（焦）再生系统。城镇污水二级生化处理出水经前处理单元去除悬浮物等后进入吸附单元，吸附去除有机物，吸附单元出水进入后续处理单元。当水头损失达到一定值后，活性炭（焦）吸附单元进行冲洗。颗粒炭（焦）吸附饱和后，应对炭（焦）进行再生处理或置换，再生后的炭（焦）可再利用。

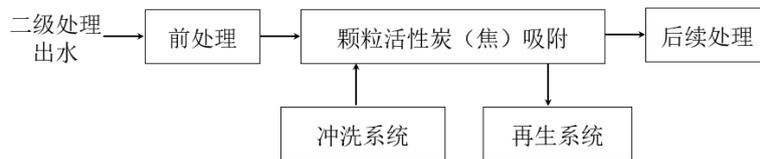


图 2-5 颗粒活性炭（焦）吸附技术系统组成及工艺流程

（2）粉末活性炭与沉淀耦合技术

粉末活性炭与沉淀池耦合应用，可通过污泥回流，延长粉炭与有机物的接触时间，提高活性炭利用效率，充分发挥活性炭的吸附能力，降低活性炭使用量。粉末活性炭与沉淀耦合技术工艺形式紧凑，运行模式灵活，用于提标改造时池体改动小。粉末活性炭与沉淀耦合技术系统组成及工艺流程如图 2-6 所示，一般包括吸附区/池、混合区/池、絮凝区/池、沉淀区/池。目前工程应用中常见的是与高效沉淀池耦合应用。

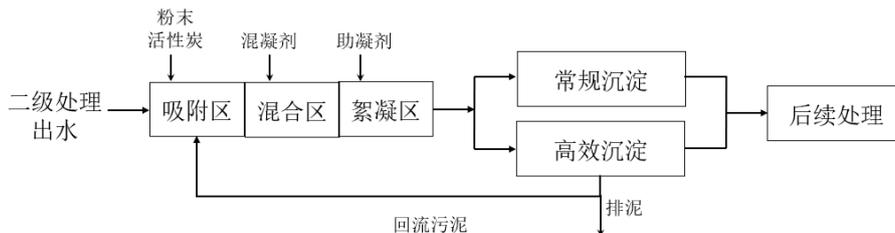


图 2-6 粉末活性炭与沉淀耦合工艺流程

（3）炭吸附澄清技术

炭吸附澄清池通过水力脉冲或机械搅拌形成活性炭污泥层，提升粉炭在污水中的浓度，延长粉炭与有机物的接触时间，充分发挥活性炭的吸附能力，提升活性炭吸附效率，降低活性炭使用量。可分为上向流炭吸附澄清池和炭吸附机械搅拌澄清池两种形式，上向流炭吸附澄清池池体结构简单，不设置水下搅拌器、刮泥机等水下机械设备，电耗较低；炭吸附机械搅拌澄清池适应性较强，处理效果稳定，能耗较大；目前国内工程应用多为上向流炭吸附澄清池形式。

炭吸附澄清池一般包括悬浮污泥层区、澄清水区、污泥浓缩区以及集水系统、排泥系统、斜管组件等，炭吸附澄清技术系统组成及工艺流程一般如图 2-7 所示。

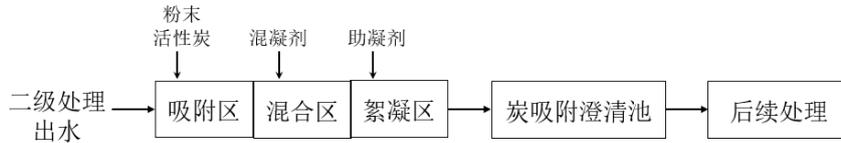


图 2-7 炭吸附澄清技术系统组成及工艺流程

(4) 粉末活性炭生物处理技术

粉末活性炭生物处理技术是通过在生物池内投加粉炭，使污水中难以降解的小分子有机物与在曝气或搅拌条件下处于流化状态的活性炭进行充分地传质、混合，有机物被吸附、富集在活性炭表面。粉末活性炭吸附有机物的同时为微生物集聚、生存及繁殖提供载体，改善微生物代谢活性和生物相，增强生物降解作用，并提高系统抗冲击能力。

粉末活性炭生物处理技术一般包括粉炭-常规活性污泥、粉炭-MBR，以及用于深度处理的膜生物流化床。

3. 适用条件

通常认为活性炭吸附技术宜用于吸附以中、大分子量为主的有机物，活性炭吸附技术宜用于吸附以小分子量为主的有机物。炭（焦）采用颗粒或粉末形式，取决于工程实际建设条件和经济成本；采用粉末活性炭（焦）时，建设条件允许且有机物去除量相对较高，可采用炭吸附澄清池形式，建设条件受限且有机物去除量要求较低或应急时，可采用与高效沉淀耦合、粉末活性炭生物处理工艺等形式。

三、其他技术

1. 臭氧-生物滤池

臭氧-生物滤池技术是臭氧氧化将难生物降解的大分子有机物转变为可生物降解的小分子有机物，氧化出水中含有的氧气充分使滤料处于富氧状态，滤料表面生长好氧微生物，通过生物吸附和氧化降解等作用去除有机物，与单独臭氧氧化相比可降低臭氧投加量和减少消毒副产物。臭氧-生物滤池技术系统组成及流程如图 2-8 所示。

生物二级处理出水经前处理单元去除悬浮物等后，进入臭氧接触反应池，投加臭氧分解大分子有机物，接触池出水进入生物滤池进一步降解有机物，滤池出水进入后续处理单元。

臭氧-生物滤池可选择单级或多级反应系统，滤料可选择火山岩、陶粒、颗粒活性炭（焦）、石英砂等。

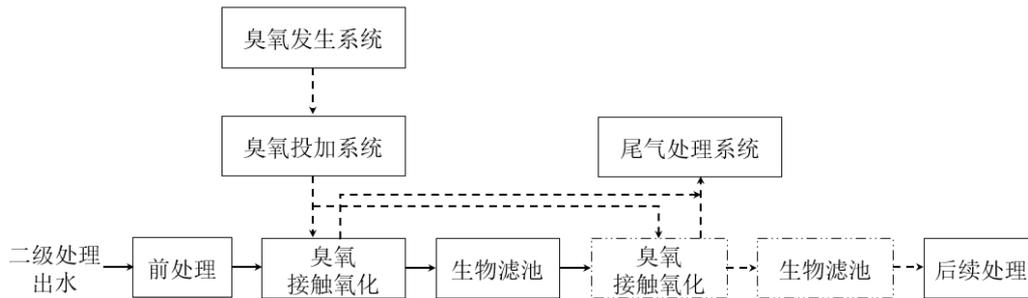


图 2-8 臭氧-生物滤池技术系统组成及工艺流程

2. 臭氧溶气气浮

臭氧溶气气浮技术是采用臭氧替代常规溶气气浮工艺中的空气气源，通过微气泡发生装置在水中产生直径小于 $100\mu\text{m}$ 甚至纳米级的微气泡，微气泡黏附颗粒上浮完成固液分离。臭氧溶气气浮利用混凝-气浮-氧化复合工艺机理，同时实现混凝、气浮分离、氧化和消毒等功能，有效去除二级出水中残留有机物。

臭氧溶气气浮技术系统组成及流程如图 2-9 所示，一般包括臭氧发生系统、混合池、絮凝池、气浮池和溶气加压系统。

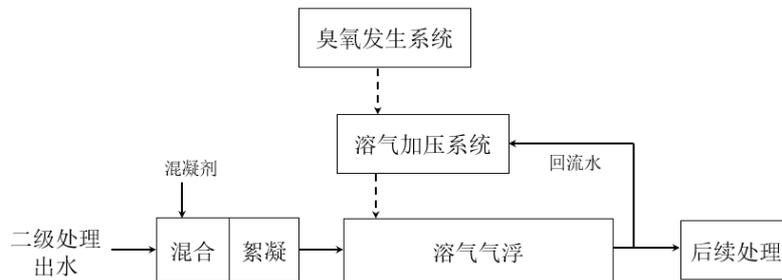


图 2-9 臭氧溶气气浮技术系统组成及工艺流程

3. 纳滤

纳滤膜是一类特殊的具有纳米级截留性能的分膜，孔径为 $1\text{nm}\sim 10\text{nm}$ ，截留分子量为 $200\text{Da}\sim 1000\text{Da}$ ，具有离子选择性，操作压力通常为 $0.5\text{MPa}\sim 2.0\text{MPa}$ ，部分超低压纳滤膜的操作压力低于 0.5MPa 。

纳滤膜可截留腐殖酸、富里酸、小分子蛋白质和氨基酸等，也可有效去除产生色度的有机物，消毒副产物的前驱物，药品和个人护理品、全氟化合物等部分新污染物。有机物、无机离子等污水组成，亲疏水性、分子质量、荷电性等有机物特征，膜性质，水温、操作压力等运行条件都影响纳滤去除有机物效果。

纳滤技术系统组成及工艺流程如图 2-10 所示，包括预处理单元、纳滤系统和清洗系统。

当氧化、吸附等处理工艺无法满足对有机物的去除要求，或生产高品质再生水时，可采用纳滤。

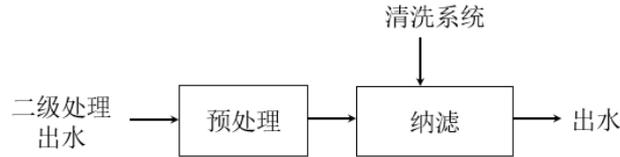


图 2-10 纳滤技术系统组成及工艺流程图

第三节 技术应用原则

在优先强化源头控制并充分发挥二级生化处理等潜能后，城镇污水处理厂出水 COD 仍不能满足要求时，应采用难降解有机物强化去除技术，并总体考虑以下要点：

- (1) 技术的选择应遵循实用、经济、成熟稳定和二次污染少等原则；
- (2) 应综合水质条件与有机物特性、有机物去除量、出水或再生利用目标、建设条件、管理维护、环境影响等因素，经技术经济比选，合理选择强化去除技术，可采用氧化、吸附、膜过滤等单项或组合技术；
- (3) 当同时去除有机物、氮、磷、悬浮物等多目标污染物时，应按照集约高效、节能低耗的原则确定有机物强化去除技术与其他污染物去除技术的适宜组合方式；
- (4) 当进水受工业废水影响时，宜开展模拟试验，并结合已有工程案例确定有机物强化去除技术。工业废水占比较高，难降解有机物去除量较大时，可采用有机物强化去除单项技术或组合技术的两级工艺；
- (5) 应结合生产实践经验和先进科技成果，积极采用新技术、新材料和新设备，必要时应针对性地开展试验验证，确定可靠设计方案后进行工程化应用。

城镇污水难降解有机物强化去除具体技术选择时，宜考虑下列因素：

- (1) 城镇污水处理厂水量、进/出水水质及其变化特征。必要时分析无机离子， UV_{254} ，溶解性有机碳（DOC），有机物的亲疏水性、极性、分子结构、官能团等特性；
- (2) 难降解有机物去除量。建议难降解有机物去除量在几毫克升（一般为 5mg/L ）以上，可采用臭氧-生物滤池、臭氧/过氧化氢氧化、臭氧催化氧化、颗粒活性炭（焦）吸附、炭吸附澄清池等技术；建议难降解有机物去除量几毫克升（一般为 5mg/L ）以下，可采用臭氧氧化、臭氧/紫外氧化、粉末活性炭与沉淀耦合、粉末活性炭生物处理、臭氧溶气气浮、纳滤等技术；
- (3) 污水处理厂占地、地质、现有构筑物流程及高程等建设条件，液氧、炭（焦）等耗材周边资源供给情况。当占地受限，已建设有生物处理单元、高效沉淀单元时，可优先考虑粉炭与上述单元耦合；当处理规模较大且液氧供给受限或臭氧制备成本高时，不建议采用臭氧氧化技术；
- (4) 出水水质要求。当出水品质要求很高时，可采用纳滤、氧化或吸附与纳滤的组合技术；

(5) 必要试验结果。采用臭氧氧化技术、吸附技术，必要时开展臭氧传质和反应动力学试验、吸附容量试验，并参考相似工程经验，经技术经济综合论证后确定具体工艺形式。

第三章 臭氧氧化设计

第一节 设计要点

臭氧氧化设计应考虑以下要素：

(1) 根据二级生化出水深度处理或再生处理总体要求，完成氧化方式、臭氧投加量、接触时间、投加方式等工艺设计，并结合投资及运行费用确定臭氧氧化设计总体方案。主要包括：

- 1) 臭氧发生系统，包括气源系统和发生器系统，气源系统需确定气源类型、装置及选型，臭氧发生器需确定发生器规格、数量及备用方案；
- 2) 臭氧接触池的体积及布置方式、臭氧投加方式等；
- 3) 臭氧尾气的处理方式，处理装置的规格、布置方式、数量及备用方案等；
- 4) 臭氧系统的控制方式。

臭氧氧化系统的设计及设备配置应符合现行国家标准《室外给水设计标准》GB 50013、《室外排水设计标准》GB 50014、《水处理用臭氧发生器技术要求》GB/T 37894 等相关规定。

(2) 臭氧氧化单元应根据进水水质及出水要求设置必要的前处理和后处理单元，前处理工艺可选择过滤、混凝沉淀、气浮等，相关设计可根据《室外排水设计标准》GB 50014 的规定或厂家建议。

采用曝气盘投加臭氧、非均相催化剂催化氧化时进水总硬度宜控制在 450mg/L 以下。当污水中抑制剂浓度较高时，宜通过试验确定降低措施以保证臭氧氧化效果。

(3) 臭氧氧化单元后不宜直接设置生物反硝化脱氮单元。当后处理单元设置纳滤、反渗透时，建议关注臭氧氧化改变有机物分子量可能对膜组件运行产生影响。

(4) 所有与臭氧接触的池体、设备、管路、部件等要注意防腐，材料应耐臭氧腐蚀。

第二节 发生系统

一、气源类型

制备臭氧的气源类型主要有空气源、液氧源和富氧源三种。空气源指压缩空气经过冷却、干燥、过滤处理后作为原料气使用；液氧源指液态氧经过汽化器汽化减压后送入臭氧发生器作为原料气；富氧源指压缩空气经过冷干处理送入变压吸附（PSA）制氧设备或真空变压吸附（VPSA）制氧设备制得的氧气作为原料气。

氧气源选择应根据气源成本、臭氧发生量、拟建工程当地条件、现场场地情况以及臭氧发生的综合单位成本等，经技术经济比较后确定，中大型污水处理厂宜采用液氧或 PSA、VPSA 制氧。空气源主要适用于臭氧需求量较小且无氧气源的场合。

二、气源装置

臭氧气源装置分为空气源装置、液氧源装置和富氧源装置。

空气源装置包括空气压缩机、储气缓冲罐、冷冻式干燥机、吸附式干燥机、空气过滤器等；液氧源装置包括液氧储罐、汽化器、热交换器（可选择）、减压装置及过滤器等；富氧源装置分为 PSA 富氧源装置和 VPSA 富氧源装置。PSA 富氧源装置包括空气压缩机、储气缓冲罐、冷却器、除水除油过滤器、空气干燥机、PSA 制氧主机、除尘过滤器等；VPSA 富氧源装置包括鼓风机、真空泵、吸附器、储气缓冲罐、氧气压缩机、仪表控制及电气系统等。

臭氧气源装置的选型和设计应根据投资和运行成本、运输便利条件等确定。气源装置的供气量及供气压力应满足臭氧发生装置最大发生量时的要求，供气质量也应满足臭氧发生装置对供气气源的要求；气源装置应邻近臭氧发生装置，应能与臭氧发生系统实现联动控制。

采用液氧源装置时，液氧储存罐的容量应根据场地、运输及液氧供应条件和污水处理厂的运行状况等确定，且不宜小于最大日需氧量 3d 的用量。汽化器一般选用空温式汽化器，并按一用一备交替使用设计；采用富氧源装置时，富氧源装置制备的氧气浓度不宜小于 90%。

三、发生装置

臭氧发生装置包括臭氧发生器、供电及控制设备、冷却设备、臭氧和氧气泄露探测及报警设备等。臭氧发生装置的设置和配置，应结合臭氧正常需求量和最大需求量，根据场地条件及经济成本等，综合考虑可靠性、稳定性、先进性等，要求如下：

（1）臭氧发生器需连续工作不停机时，应考虑备用设计，备用方式可采用软备用或硬备用。采用空气源时，应采用硬备用配置；采用氧气源时，经技术经济比较后选择软备用或硬备用配置；采用软备用配置时，臭氧发生器的配置台数不宜少于 3 台；

（2）发生装置的设置应尽可能邻近臭氧用量较大的臭氧接触池；

（3）发生装置应设置冷却设备，冷却设备应有必要的温度、压力等检测仪表，并应根据应用条件设置保护或报警值进行连锁控制。大型臭氧发生装置宜采用纯水闭式循环冷却，循环水量、水压、热交换器等应匹配臭氧发生器容量与环境条件；

（4）发生装置应设置在室内，严禁设置于地下或半地下。应设置每小时换气 8 次~12 次的机械通风设备；臭氧发生间入口处室外应放置防护器具、抢救设施和工具箱，并应设置室内照明和通风设备的室外开关；臭氧发生间应设置具有明显标识的逃生通道。

臭氧发生器主要性能要求如下：

（1）臭氧产量的调节和控制范围应为设备额定产气量的 25%~100%；

（2）臭氧发生器主体器件寿命应大于 15 年；

（3）氧气源和富氧源制备臭氧气体浓度不宜低于 10wt%，空气源制备臭氧气体浓度宜

为 2wt%~3wt%;

(4) 臭氧出气气体温度不应高于 35℃。

第三节 接触投加系统

一、接触反应池

1. 池型与要求

臭氧接触池可根据处理规模、场地条件等采用接触池或接触塔的形式。为提高臭氧传质效率，宜采用计算流体动力学软件对接触池布局进行设计，尽量避免出现短流，池型设计以获得接近推流流态为佳。

臭氧接触池设置和配置要求如下：

(1) 接触池宜采用气水逆流接触型式，竖向流下进水方式，出水方式应根据后续处理单元的进水方式或出水排放方式确定；

(2) 接触池可为单级或多级，接触池个数或能够单独排空的分格数不宜少于 2 个，接触池内宜设置 2 段~3 段串联接触室；

(3) 接触池应全密闭，设置检修人孔，池壁上宜设置爬梯；池顶应设置臭氧尾气排放管和自动双向压力平衡阀，池内水面与池内顶宜保持 0.5m~0.7m 距离，接触池入口和出口处应采取防止接触池顶部空间内臭氧尾气进入上下游构筑物的措施；

(4) 接触池应设置放空设施，放空设施一般包括集水坑、放空口、放空泵和放空管道，为确保排水顺畅，放空口应设置在接触池高程最低处；

(5) 采用非均相催化氧化时，接触池设计应考虑催化剂的流失及其预防措施，宜设置反冲洗设施以避免催化剂板结；

(6) 采用臭氧/过氧化氢氧化时，接触池宜单独设置臭氧与过氧化氢混合区，臭氧宜选择射流投加方式。

2. 接触时间

接触时间应根据臭氧氧化系统进水水质和出水目标，通过试验或参照类似工程经验确定，宜为 20min~60min。当采用臭氧氧化用于改善有机物可生化性时，可缩短接触时间。

3. 有效水深

接触池的最大深度受限于臭氧发生器的出气压力，有效水深宜根据臭氧投加方式及臭氧吸收利用率确定。当水深达到 6m 时臭氧传质效率通常可达到 85%以上，接触池有效水深宜为 6m~9m，采用射流方式投加时，可降低水深。

4. 有效容积

接触池有效容积应根据臭氧氧化反应所需的最佳接触时间确定，宜按下式计算：

$$V = Q \times t \quad (3-1)$$

式中：V—臭氧接触池有效容积（m³）；

Q—最大小时设计流量（m³/h）；

t—接触时间（h）。

为防止残留于水中的臭氧进入下一个处理构筑物，臭氧接触池末端宜设置脱气池，将水体中未与有机物反应的臭氧释放出来，脱气池停留时间宜为 5min~15min。当采用臭氧-生物滤池工艺时，不设置脱气池。

5. 池体和管道防腐

臭氧接触池和含臭氧污水管道防腐要求如下：

（1）接触池应防腐、防裂、防渗，应符合《工业建筑防腐蚀设计标准》GB/T 50046 的相关规定。检修人孔和爬梯材质应耐臭氧腐蚀，布水布气装置的材质及防腐措施应考虑臭氧浓度；

（2）含臭氧污水管道宜选用 316L 不锈钢、聚乙烯塑料或双相不锈钢等耐臭氧腐蚀的材质；

（3）含臭氧污水管道配套阀门密封材质宜选用三元乙丙橡胶、聚四氟乙烯塑料等，过流部件宜选用 316L 不锈钢、三元乙丙橡胶、聚四氟乙烯塑料等耐臭氧腐蚀的材质；

（4）含臭氧污水管道配套伸缩器、补偿器材质宜选用 316L 不锈钢，柔性接头宜采用三元乙丙橡胶等耐臭氧腐蚀的材质。

二、投加系统

1. 投加量

臭氧投加量宜按下式计算：

$$D = \frac{Z \times Q \times (C_0 - C_e)}{1000 \times E} \quad (3-2)$$

式中：D—臭氧投加量（kg/h）；

Q—最大小时设计流量（m³/h）；

C₀—进水溶解性 COD 浓度（mg/L）；

C_e—出水溶解性 COD 浓度（mg/L）；

Z—臭氧投加系数，去除单位 COD 所需臭氧投加量（kgO₃/kgΔCOD）；

E—臭氧溶气效率（%），曝气盘投加方式取值≥50%，射流投加方式取值≥90%。

臭氧投加量应根据水质特性、有机物去除目标等，通过试验或参照类似工程经验确定。当无试验条件或缺乏数据时，臭氧投加量宜为 1kgO₃/kgΔCOD~3kgO₃/kgΔCOD，具体数值受有机物的类型及其浓度、进水组成等影响。

采用臭氧/过氧化氢氧化，过氧化氢与臭氧投加浓度质量比宜为 0.3:1kgH₂O₂/kgO₃~0.8:1kgH₂O₂/kgO₃，具体数值受促进剂和抑制剂的种类和浓度影响；臭氧及过氧化氢的投加量应根据流量及有机物浓度值按比例调节，并应控制过氧化氢投加不过量。

2. 投加方式及装置

臭氧在水中的半衰期仅有 20min 左右，大幅度降解 COD 时需要较长的接触时间，为提高臭氧氧化效率，应采用多点投加；一般设置三点串联投加，第一个投加点布气量一般不小于总气量的 40%，第二和第三点宜为等比例分配投加。

臭氧投加主要采用微孔曝气投加和射流投加两种方式。

(1) 微孔曝气投加

微孔曝气投加是臭氧通过设在臭氧接触池布气区格底部的微孔曝气器直接向水中扩散，微孔曝气投加可利用臭氧发生器的产气压力，不需要额外的能耗，可灵活布置，适应不同工艺需求。

微孔曝气装置由气体分配设备、微孔曝气器等组成，微孔曝气器可选择板式、管式或盘式等，目前应用较多的是曝气盘。微孔曝气装置设置和配置要求如下：

1) 气体分配设备、微孔曝气器及其固定件的材质应耐臭氧腐蚀，曝气器的材质可选用钛合金、刚玉、聚四氟乙烯、陶瓷等，水下固定件材质宜选用 316L 不锈钢等；

2) 应选用可产生微小气泡且孔径分布均匀的曝气器，曝气器数量应根据臭氧气体流量、曝气器出气量、服务面积综合确定，臭氧溶气效率不宜低于 50%；

3) 曝气器的布置应满足该区格臭氧需求量 $\pm 25\%$ 的变化范围内仍能均匀布气。

(2) 射流投加

射流投加是利用射流负压原理发展起来的一种多用途曝气方式，射流器可产生极微小气泡保证高效传质。射流投加在臭氧氧化工艺中应用较为普遍，在臭氧投加量较大时宜选用射流投加。

射流投加装置包括增压泵、射流器等，设置和配置要求如下：

1) 射流器的臭氧溶气效率不应小于 90%；

2) 增压泵宜采用变频调速控制；

3) 增压泵回流水比例与臭氧的投加量和接触时间相关，还应考虑臭氧发生系统的气源装置、发生器等配置条件；

4) 射流器过流部件应选用 316L 不锈钢等耐臭氧腐蚀材质。

3. 臭氧气体输送管道

臭氧气体输送管道要求如下：

(1) 臭氧气体输送管道的材质宜选用 316L 不锈钢，且应进行脱脂处理；

(2) 臭氧气体输送主干管道上应设置防倒流装置；

(3) 臭氧气体输送管道配套阀门密封材料应选用三元乙丙橡胶、聚四氟乙烯塑料等，过流部件宜选用 316L 不锈钢等耐臭氧腐蚀材质，配套阀门应进行脱脂处理。

第四节 尾气处理系统

一、尾气消除

尾气消除装置用以处理接触池排放的残余臭氧，达到环境允许的浓度。消除方式应根据尾气臭氧浓度、工作气量、排放要求等选择，可采用催化剂接触分解法、电加热分解法、活性炭吸附分解法，以氧气为气源的臭氧系统尾气处理不应采用活性炭吸附分解法。

尾气消除装置包括尾气输送管、尾气除湿器、抽气风机及尾气破坏器等，应根据尾气臭氧浓度及其变化、工作气量及其变化、尾气破坏器工作方式、催化剂（如有）效率及设计更换时间、设计余量等进行尾气消除装置的设计和选型等。

尾气消除装置设置和配置要求如下：

- (1) 尾气消除装置最大设计气量应与臭氧发生器的设计气量一致，并应有备用装置；
- (2) 尾气消除装置可设置在臭氧接触池池顶或其他处，设置在池顶时应采取防雨、防冻措施；设置在其他处时，尾气抽送管道的最低处应设置凝结水排除装置。电加热分解装置应设在室内。消除装置设在室内时，应有强排风设施；
- (3) 多座或多分格的臭氧接触池，各反应区顶部均应设置尾气收集管，可采用汇总尾气后多台尾气处理装置互为备用的处理方式，或采用独立尾气管后单台尾气处理装置上引风机备用的处理方式；
- (4) 尾气收集输送管道应脱脂处理，管道应有导出静电的接地装置；
- (5) 尾气输送总管及干管内流速宜低于 15m/s，管道采用 316L 不锈钢等耐臭氧腐蚀材质，管道的连接可采用焊接或法兰连接；管道严禁采用折皱弯头，弯头的弯曲半径不应小于管外径。

二、尾气回收利用

臭氧发生系统中氧气仅有 10%左右转化为臭氧，大部分成为尾气排放，经济成本较高，宜考虑尾气回收利用。采用富氧气源时，尾气中氧气浓度更高，回收利用的经济性更显著。尾气回收利用应综合考虑回收效率、能源消耗、利用条件及利用效果等因素，目前主要有尾气臭氧消除后的氧气用于生物池纯氧曝气供氧和利用尾气中的臭氧除臭两种方式。

1. 生物池供氧

收集通过尾气破坏装置排放的富氧气体，经增压后输送至纯氧曝气生物反应池，供好氧微生物降解污染物所用。氧气回收利用系统用于生物池供氧的布置应根据臭氧实际用量、臭氧发生器气源形式、生物池需氧量、污水处理厂平面布置及经济成本等因素确定。

氧气回收利用系统用于生物池供氧由收集、增压、输送及控制系统组成，设置和配置要求如下：

- (1) 臭氧接触池宜与尾气回用源紧邻布置；
- (2) 增压设备应满足生物反应池供氧设备进气压力的要求，可采用引风机、氧压机等

多种机械增压的形式。增压设备数量应根据工艺要求配置，宜通过多台、大小规格、变频等设备配置调整供氧量；增压设备后应设置安全阀。

2. 除臭

从臭氧接触池收集臭氧尾气，输送至臭氧除臭反应系统，用于氧化臭气中的有机组分。氧气回收利用系统用于除臭可与化学除臭系统或生物除臭系统结合，设置在化学除臭或生物除臭系统之后。

臭氧尾气回收利用系统用于除臭由臭氧尾气收集与输送、臭氧除臭反应和控制系统等组成，根据除臭要求进行相关设计，需配置恶臭污染物浓度监测仪、流量计、臭氧检测浓度仪等。尾气回收除臭的控制宜与臭氧氧化系统的控制联动。

第五节 控制系统

一、检测

臭氧氧化系统的检测仪器仪表包括各类臭氧浓度检测仪、流量检测仪、压力及温度传感器、露点仪、臭氧及氧气泄露报警仪、臭氧发生器电源电量检测仪等，设置和配置要求如下：

(1) 臭氧发生器应在合理位置设置臭氧浓度检测仪、流量检测仪、压力及温度传感器等仪表，进气总管应配置露点仪；

(2) 臭氧发生间应设置环境臭氧浓度检测仪和臭氧泄露报警器，采用氧气源时还应配置氧气泄露报警器，报警器应与臭氧发生器和排风装置联动；

(3) 接触池可根据需求配置水中溶解臭氧浓度检测仪、接触后臭氧浓度检测仪，关键点压力传感器、温度传感器；

(4) 尾气处理系统应在尾气排放口设置环境臭氧浓度检测仪和报警器；

(5) 检测仪器仪表参与控制时应选择在线监测仪表，不参与控制时可选用便携式。

二、控制

控制系统通过设置的仪器仪表的监测数据信息等，控制臭氧发生、投加、尾气处理以及接触反应等系统的运行。

控制系统对臭氧量的控制一般可分为两种方式。第一种臭氧投加浓度恒定调节气源流量，是按照设计的臭氧投加浓度调节臭氧气流量；第二种水中余臭氧浓度调节臭氧产生量控制，是按照水中溶解的臭氧浓度调节臭氧发生量或臭氧投加分配量。建议采用臭氧投加浓度恒定调节气源流量的控制方式，该方式需配置测量精度高、运行稳定性好的臭氧浓度检测仪。

控制系统设置和配置要求如下：

(1) 控制系统分为集中控制与单机控制，各级控制分为手动、全自动等操作方式，对

各运行参数进行设定、修改、调节，并可对故障实现智能识别和报警；

(2) 控制系统应能实时显示机电设备的工作状态和仪表的检测数据，并根据控制和报警要求制定人机对话界面，可通过相关通讯协议与上位系统连接，历史数据应定期自动保存；

(3) 采用 PLC 或 DCS 控制时，各种在线仪器仪表应有与 PLC 或 DCS 联机的模拟量、数字量或通讯功能接口；

(4) 控制系统应实现臭氧氧化系统中各设备及装置与臭氧发生器的联动；臭氧接触池、投加系统、尾气处理系统停运或出现故障时，控制系统应能自动停止臭氧发生系统相关设备的运行；

(5) 尾气处理系统风机的运行信号应反馈给控制系统，风机不运行或故障时进行报警、提示故障，应能自动停机并切换到备用机。

第四章 颗粒活性炭（焦）吸附设计

第一节 设计要点

颗粒活性炭（焦）吸附设计应考虑以下要素：

（1）根据二级生化出水深度处理或再生处理总体要求，完成活性炭（焦）选型、活性炭（焦）用量、接触时间、再生周期等工艺设计，并结合投资及运行费用确定颗粒活性炭（焦）吸附设计总体方案。主要包括：

- 1）吸附单元，包括池型与过流方式，吸附池数量、格数及单格面积，接触时间，炭（焦）层厚度、配水设施等；
- 2）炭（焦）冲洗，包括冲洗方式、冲洗周期、水冲洗强度等；
- 3）炭（焦）装填及更换，包括卸、装填、排炭（焦）等；
- 4）炭（焦）再生，原位再生时包括再生方法、再生装置、尾气处理装置等。

颗粒活性炭吸附的设计应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 的有关规定。

（2）颗粒活性炭（焦）吸附单元应根据进水水质及出水要求设置必要的前处理和后处理单元。吸附单元进水悬浮物浓度宜低于 10mg/L，前处理工艺可选择过滤、气浮等，相关设计可根据《室外排水设计标准》GB 50014 的规定或厂家建议。

（3）应注意不同系列吸附池单元、同一吸附单元不同格池间配水的均匀性，尽量保证水量均衡分配。

（4）活性炭（焦）吸附单元采用敞开池型时，宜设置遮阳棚或置于室内。

（5）与活性炭（焦）接触的构筑物及相关设备采用钢、铝、铜等材质时，应注意电化学腐蚀；吸附池内壁与炭（焦）接触部位应强化防裂防渗措施；应考虑炭（焦）对输送管道的磨损，管道材质宜选用不锈钢、聚四氟乙烯、硬聚氯乙烯等。

（6）若有炭（焦）储存库，炭（焦）储存库应考虑防火、防潮、建筑物的采光、通风和防尘，并避免炭（焦）被污染，电气设备应注意防爆。

（7）炭（焦）吸附饱和后是否选择再生，宜考虑炭（焦）性能指标、消耗量、经济成本等因素。再生时宜根据再生规模、建设用地、投资与运行成本、周边资源条件等确定采用厂内原位再生或异位再生。

第二节 吸附单元

一、炭（焦）选型与用量

1. 炭（焦）选型

活性炭（焦）吸附能力受其孔隙结构和表面化学性质影响，应选用吸附性能好、机械强度高、化学稳定性好、再生性能好的活性炭（焦），关键性能参数要求值除满足表 4-1 之外，其他要求还应满足《煤质颗粒活性炭 净化水用煤质颗粒活性炭》GB/T 7701.2 的相关规定，木质和椰壳活性炭的要求应满足《木质净水用活性炭》GB/T 13803.2。

活性炭（焦）粒径及规格的选择应综合考虑水质要求、处理目标、吸附效果和水头损失、吸附池过流方式等因素，颗粒活性炭可选用为 8 目×30 目、12 目×30 目、20 目×50 目、30 目×60 目、Φ1.5mm 柱状，颗粒活性焦可选用为 8 目×30 目、2mm~8mm，或试验确定。

表 4-1 煤质颗粒活性炭与活性焦关键性能参数

类别	比表面积 (m ² /g)	碘吸附值 (mg/g)	亚甲蓝吸附值 (mg/g)	焦糖脱色率 (mg/g)	强度 (%)
颗粒活性炭	≥700	≥800	≥120	-	≥90
颗粒活性焦	≥500	≥500	≥100	≥100	≥90

2. 炭（焦）用量

颗粒活性炭（焦）用量根据炭（焦）吸附容量、吸附周期以及有机物去除量确定，炭（焦）装填量可按式计算：

$$M = \frac{24 \times Q(C_i - C_e)T}{1000R} \quad (4-1)$$

式中：M—炭（焦）装填量（t）；

Q—最大小时设计流量（m³/h）；

C_i—设计进水 COD（mg/L）；

C_e—设计出水 COD（mg/L）；

T—换炭（焦）周期（d）；

R—炭（焦）吸附容量（kgCOD/t）。

颗粒炭（焦）吸附容量与炭（焦）产品质量有关，受进水悬浮物、有机物类型、水温等影响，一般为 100kgCOD/t~300kgCOD/t，宜通过试验确定。

二、过流方式

过流方式影响冲洗周期及强度、炭（焦）更换方式、多池串（并）联连接方式等。吸附单元按过流方式可分为下向流和上向流，过流方式应根据进水有机物负荷和悬浮物浓度等水质情况、构筑物的衔接方式及运行管理经验等因素，结合工程地形条件，通过技术经济比较后确定，必要时开展试验。

活性炭吸附单元设置在过滤池前宜采用上向流方式，设置在过滤池之后宜采用下向流方式。目前工程应用中设置有提焦、洗焦程序的活性炭吸附单元以上向流方式为主，若采用下向流方式，宜通过试验确定池型、冲洗方式及相关参数。

三、池型与布置

1. 池型

炭（焦）吸附单元池型与处理规模、有机物去除量、场地建设条件、吸附级数或池体串/并联形式、炭（焦）层厚度等相关，还应考虑水与炭（焦）的充分接触、炭（焦）排出与补充的简便性，经技术经济比较后确定，必要时开展试验。

下向流炭吸附池池型可采用 V 型滤池池型、普通快滤池池型、翻板滤池池型。上向流炭吸附池在占地受限且单池炭层厚度超过相关国家、行业标准规定时，池型和冲洗方式宜通过试验确定，也可参照目前工程应用的设置有提焦、洗焦程序的上向流活性炭吸附池。

吸附池可采用标准的建筑用不锈钢、碳钢、玻璃钢或钢筋混凝土结构制造，当设计规模较小且用地较为宽敞时，可采用压力滤罐。

2. 布置

炭（焦）吸附池的布置形式、反应级数和单格面积应根据处理规模、有机物去除负荷、场地建设条件、运行管理条件等确定。吸附池数量和分格数还应考虑设备检修、炭（焦）更换时的备用。吸附池可分为多个系列，每个系列多个格池并联。当有机物去除负荷较高、出水水质要求严格时，可采用多级吸附池串联方式。

吸附池单格面积需要充分考虑配水均匀性等因素，为保证配水均匀、冲洗以及便于炭（焦）更换等，建议单格面积不宜大于 100m²，目前工程应用的上向流活性炭吸附池，单格面积多为 25m² 和 36m²。

四、接触时间

活性炭（焦）吸附有机物需要一定的接触时间。接触时间与处理水质有关，原水中有机物浓度越高，接触时间越长，活性炭（焦）吸附效果越好；但延长接触时间，会增加吸附池面积或炭（焦）层厚度，提高工程投资和运行费用。

接触时间 t 与吸附滤速 v 、炭（焦）层厚度 h 以及炭（焦）层容积 R 和设计流量 Q 关系为：

$$t = \frac{R}{Q} = \frac{h}{v} \quad (4-2)$$

接触时间、吸附滤速和炭（焦）层厚度三个设计参数相互关联，选取其中一个参数时应考虑其他参数的取值范围。接触时间相同，选取较高吸附滤速时，炭（焦）层厚度随之增高。吸附层总容积是相对恒定的，受池型的限制，要提高设计吸附滤速就必须通过增加吸附池串联数，增大炭（焦）层厚度，以满足接触时间的要求。串联数过多会增大系统的水头损失增加能耗，并增加运行管理难度。

宜通过试验，或参考类似工程案例，确定炭（焦）空床接触时间、吸附滤速和炭（焦）

层厚度，并考虑工程投资和运行成本等。当无试验资料时，炭（焦）吸附空床接触时间宜为 20min~60min。炭吸附空床滤速宜为 4m/h~12m/h，炭层总厚度为 4m~12m，当单池空床接触时间达不到要求时，可采用多池串联；活性焦吸附空床滤速一般为 4m/h~8m/h，焦层厚度一般为 3m~11m。

第三节 炭（焦）冲洗

一、冲洗方式

为避免悬浮物和微生物产生的粘液堵塞填充层，或影响吸附效果，吸附池宜进行冲洗。炭（焦）吸附池冲洗方式应综合考虑进水水质、池型、炭（焦）层厚度、炭（焦）粒径及运行管理经验等因素。

下向流炭吸附池可采用定期、定时、定水头损失、强制或人工控制等形式，具体采用的形式与工艺设备配置和自控系统的设置相关；采用单独水冲洗或先气冲后水冲模式的气水联合冲洗方式，为提高冲洗效果，还可增加表面扫洗。

冲洗水可用吸附池出水或滤池出水，浊度应 ≤ 1 NTU。初滤水可回流至吸附池上游前处理单元进水端或排入反冲洗调节水池回收或达标排放等。为最大限度利用活性焦吸附能力，目前工程应用的大规模上向流活性焦吸附池，在运行过程中采用提焦、洗焦的冲洗方式。提焦、洗焦过程通过气提方式将吸附池底部的活性焦提升到池体上部的洗焦器，采用吸附池清水区的出水冲洗活性焦，而后活性焦重新回入吸附池的上部，洗焦产生的废液通过排污管排出，可回流至吸附池上游前处理单元进水端，或单独收集处理后回用或达标排放。

二、周期与强度

炭（焦）吸附池的冲洗周期、时间和强度应根据进水水质、过流方式、炭（焦）层厚度、炭（焦）粒径与密度、池型和运行管理条件等确定。水头损失值和冲洗周期是吸附池冲洗执行的控制参数，最终水头损失应根据炭（焦）粒径、炭（焦）层厚度和吸附滤速确定，为避免炭（焦）层板结冲洗周期不宜过长。炭吸附池经常性冲洗周期宜为 3d~5d，水冲洗强度宜为 $39.6\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 46.8\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，历时 10min~15min，膨胀率宜为 15%~20%；除经常性冲洗外，还应定期采用大流量冲洗，一般为 30d，水冲洗强度宜为 $54\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 64.8\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，历时 8min~12min，膨胀率宜为 25%~35%。

焦吸附池提焦、洗焦周期当无试验资料时，可不超过 1d，提焦、洗焦总时间宜为 30min~120min。

三、设施设备

炭（焦）冲洗一般包括冲洗水池/箱、冲洗水泵、冲洗风机等设备，阀门、仪表等附属设备及控制系统。阀门包括反冲洗进水阀、反冲洗进气阀、反冲洗排水阀、排气阀等设备，

仪表包括水位计、压力表、流量计等。

焦吸附池的提焦、洗焦系统还需设置洗焦器、焦水分离器、提焦管等。

第四节 炭（焦）补换

一、炭（焦）更换模式

炭（焦）吸附可设置更换或补充炭（焦）设施，用于移除吸附池内吸附饱和的炭（焦）和添加新的炭（焦），保证吸附池正常运行。一般饱和的炭（焦）可从吸附池底部排出，新炭（焦）从吸附池顶部加入。

炭（焦）更换模式是采用全部炭（焦）吸附饱和后一次性更换，还是部分饱和后部分更换，可根据便于操作等原则及实际运行情况等确定。采用多级串联吸附时，为提高炭（焦）的利用效率，可采用多级排炭（焦）和加炭（焦）模式，第一级吸附池内吸附饱和的炭（焦）外排，第二级吸附池炭（焦）排出清洗脱水后输送至第一级吸附池，第三级炭（焦）排出清洗脱水后输送至第二级吸附池，依次类推，最后一级加入新炭（焦）。

新炭（焦）可采用吊车直接从吸附池顶部投加，也可配置加炭（焦）池和加炭（焦）泵，采用水力输送方式投加，处理规模较大时宜采用水力输送方式。

二、炭（焦）补换周期

炭（焦）更换周期和更换量宜根据炭（焦）吸附容量、设计流量、进出水水质确定，宜以出水水质能否稳定达到水质目标为主要依据，并考虑炭（焦）的性能指标。以下情况，可考虑炭（焦）更换：

- （1）炭（焦）吸附池出水水质下降或低于内控指标的 90%，冲洗后无法恢复；
- （2）活性炭碘吸附值小于 600mg/g 或亚甲蓝吸附值小于 85mg/g，活性焦碘吸附值小于 400mg/g；
- （3）炭（焦）机械强度小于 80%；
- （4）反冲洗周期过短。

对于同时起过滤功能的吸附池，炭（焦）层厚度对过滤效果影响较大，当炭（焦）层厚度下降至设计值的 90%，或炭（焦）损失率超过 10%时，应补充新炭（焦）。

三、设施设备

活性炭（焦）的移出、清洗和装填一般需要配置配炭（焦）池、脱水滤液池、排炭（焦）泵、加炭（焦）泵、脱水振动筛、变配电间及控制设备，配炭（焦）池、滤液池、排炭（焦）泵、加炭（焦）泵等的数量、规格等应根据排炭（焦）量、加炭（焦）量、排炭（焦）时间、加炭（焦）时间、吸附池数量等确定，脱水振动筛、加炭（焦）泵及排炭（焦）泵等还应考虑备用。

第五节 炭（焦）再生

一、再生方法

活性炭（焦）再生方法选择主要取决于活性炭（焦）的类型和被吸附物质的性质，按照再生介质和再生机理可分为热再生法、生物再生法、药剂再生法、真空再生法和化学氧化法等。目前应用最广泛的是高温加热再生法，包括高温过热蒸汽加热再生法和高温烟道气加热再生法。

高温加热再生法再生的炭（焦）质量均匀，再生时间短，产生的尾气需要进行处理。高温加热再生法宜选用再生过程中少粉化或无粉化、性状改变小、活化彻底、炭（焦）损失低、占地面积小、运行费用低、运行管理简便的再生装置设备。再生装置设备应使用寿命长，再生后活性/炭焦的吸附容量不宜小于再生前吸附容量的 90%，每次再生得率不宜小于 90%。

二、尾气处理

活性炭（焦）再生尾气应满足《危险废物焚烧污染控制标准》GB 18484，高温过热蒸汽再生法和高温烟道气再生法尾气处理方法不同。

高温过热蒸汽再生对活性炭层加热过程中，体系压力达到表压 25kPa~30kPa 时会泄压产生尾气。尾气首先经换热器冷凝，每吨炭（干基）约产生 30Nm³~50Nm³ 不凝气体，不凝气体经氧化、碱洗、水洗处理后达标排放。冷凝水、碱洗废水、水洗废水应收集处理。

高温烟道气再生过程持续产生烟气，烟气进入后端尾气处理系统。每吨炭（干基）约产生 240Nm³~500Nm³ 烟气，烟气首先进入二燃室，1100℃下充分燃烧后，经脱硝、余热回收、烟气急冷、布袋除尘、碱洗、水洗、烟气再加热处理后达标排放。急冷水、碱洗废水、水洗废水应收集处理。

三、设施设备

采用在污水处理厂原位再生时，再生单元的设计再生规模及其设备配置不应小于吸附池一次换炭（焦）产生的饱和活性炭（焦）量。高温加热再生法再生装置的设备配置与加热方式和工艺参数等有关。

高温过热蒸汽再生法一般需配置真空脱水装置、再生罐及罐内再生装置、形成过热蒸汽的再加热器、热循环风机、换热器、冷却装置、尾气处理装置等及其附属管路、控制设备等。

高温烟道气再生法一般需配置螺旋脱水装置、高温烟道气加热装置、再生炉、急冷槽、尾气处理装置、筛分装置等及其附属管路、控制设备等。

第五章 粉末活性炭吸附设计

第一节 设计要点

粉末活性炭吸附设计应考虑以下要素：

(1) 根据二级生化出水水质及难降解有机物去除目标，完成粉炭吸附工艺形式、投加点、投加量、投加方式等工艺设计，并结合投资及运行费用确定粉炭吸附设计总体方案，对于改造项目，还应结合现状工艺和改造建设条件。主要包括：

- 1) 吸附单元，包括工艺形式与反应区设置、投加点、投加量等参数确定；
- 2) 储料系统，包括投料和储料，确定卸料方式、料仓形式及其配置等；
- 3) 投加系统，包括投加方式、浆液制备等。

粉末活性炭的储存、输送和投加其设施设备设计及配置应符合现行国家标准《室外给水设计标准》GB 50013 的相关规定。

(2) 粉末活性炭产品类型选择应根据水质和有机物去除要求等确定，宜通过试验确定粉炭材质和规格，目前常用的粉炭粒径在 200 目~300 目。

(3) 粉末活性炭投加点应根据处理规模、吸附时间、反应区/池及管道布置等确定，并应尽量避免吸附被干扰。设置吸附区时，粉炭直接投加到吸附区前端；不设置吸附区时，粉炭直接投加到混合区/池的前端或进水管道内，不宜与混凝剂同时投加。投加点可设置单个或多个。

(4) 粉末活性炭投加量应根据水质特性、有机物去除目标等，通过试验或参照类似工程经验确定。当无试验条件或缺乏数据时，粉炭投加量宜为 $3\text{kgPAC/kg}\Delta\text{COD}\sim 5\text{kgPAC/kg}\Delta\text{COD}$ 。

(5) 粉末活性炭投加的射流器、浆液配制池、配管、阀类等设施设备与粉炭相接触的部分，应使用耐腐蚀及耐磨损的材料。

(6) 粉末活性炭吸附产生的污泥量宜通过试验或参考相似工程经验确定，无试验数据时，可参考 1.2 倍~1.5 倍粉末活性炭投加量。

第二节 吸附单元

一、粉末活性炭与沉淀耦合

粉末活性炭与沉淀耦合宜设置吸附区/池、混合区/池、絮凝区/池、沉淀区/池，当占地受限时，可不设单独的吸附区/池。吸附区水力停留时间，一般可为 $3\text{min}\sim 15\text{min}$ ，当占地不受限时，可采用较长吸附区/池水力停留时间，降低粉炭投加量；混合区/池水力停留时间宜为 $1\text{min}\sim 2.5\text{min}$ ，絮凝区/池水力停留时间宜为 $5\text{min}\sim 10\text{min}$ ，高效沉淀池表面水力负荷宜为 $6\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 13\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

二、炭吸附澄清

上向流炭吸附澄清工艺包括吸附池、混合池、絮凝池、真空室、污泥层区、澄清水区、污泥浓缩区，吸附池、混合池、絮凝池的水力停留时间可参考粉末活性炭与沉淀耦合工艺。脉冲周期一般为 30s~40s，充放时间比 2:1~4:1，污泥层区表面水力负荷宜为 $2\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，澄清水区上升流速宜为 3m/h~6m/h。

上向流炭吸附澄清池主要设备包括真空风机、真空释放阀、排泥阀、放空阀等。

三、粉末活性炭生物处理

粉末活性炭生物处理工艺吸附单元为曝气池及后续生物处理池，粉炭投加点应位于曝气池进水端，吸附时间原则上为曝气池及后续生物处理池水力停留时间，投加量可根据吸附系统处于的运行时期灵活调整，启动初期宜增大粉炭投加量，运行稳定期宜降低粉炭投加量。

第三节 储料系统

一、投料

国内市场供应的粉末活性炭主要有槽罐车和袋装两种规格方式，应根据现场所购粉炭原料包装规格选择匹配的卸料方式。

散装粉料槽罐车封闭卸送，利用自身动力源通过正压气力输送方式卸料，配合仓顶除尘器，将物料和气体分离，将粉炭输送至料仓中，适用于 30m^3 及以上较大型的储料仓。袋装粉炭需人工拆包。25kg 袋装粉炭拆包后倾倒入投料站内，再采用负压或正压气力输送至料仓，适用于 10m^3 及以下的小型储料仓；500kg 吨袋装粉炭需要起重机械起吊至吨袋卸料机，拆包后可采用螺旋输送机或正压气力输送至储料仓，螺旋输送机上料不适用于大体积储料仓。

当粉炭来源受限且粉炭用量不大、采用袋装粉末活性炭时，宜建设投料站。

二、储料

粉末活性炭吸附工艺应配套建设干粉储料仓，储料仓可采用室外大料仓和室内料仓两种形式。

料仓产品规格丰富，常用为筒型支架料仓，一般体积为 $3\text{m}^3\sim 100\text{m}^3$ ，一般情况下单台料仓不超过 100m^3 ，具体型式及规格可按照实际需求选择。料仓容积宜结合供货周期确定，一般按照最大量投加时 3d 的粉炭储量确定，如粉炭调运周期长，最大料仓容积建议不超过 7d 的最大投加量的储量。

料仓设有高低料位检测/报警、粉料破拱、卸料控制和定量投料装置。粉炭采用正压气力输送至料仓时，料仓顶部需配备仓顶除尘器和仓顶呼吸阀，并在料仓或投料设备附近配备具有声光报警功能的现场控制箱。料仓还应配备符合国家安全标准的带背部护笼的爬梯，

顶部需配备整圈护栏。

采用室外料仓时，应考虑避雷和防腐。避雷应结合料仓与周围建构筑物的高度，按需设置避雷针及单独的引下线，与避雷网连接；防腐应根据所处地的大气腐蚀环境和设备使用年限要求，一般情况下外防腐漆膜干膜厚度不应低于 180 μm 。

三、防火防爆

粉末活性炭储料系统应防火防爆。粉料仓防爆类别为 III 类导电性粉尘爆炸，存放散装物料、拆包、卸料的存料、卸料区，设计要求应隶属《爆炸性环境 第 35 部分：爆炸性粉尘环境场所分类》GB/T 3636.35 中 21 区粉尘防爆区域，应采取防爆、防静电安全措施。料仓内壁应打磨光滑，必要时可配备氮气或二氧化碳供应系统，保证仓内空气始终处于惰性状态。高温季节可在料仓外壁配备喷淋系统，用于料仓降温。电气设备应选用粉尘防爆型，其外观标识铭牌应符合其所属防爆区域的要求。

第四节 投加系统

一、投加方式

按照与水混合方式的不同，粉末活性炭投加方式可分为干式投加和湿式投加，选择时主要考虑粉炭与水固液混合、气力输送、粉体计量、粉体物料储存、悬浊浆液投加装置等因素。

1. 干式投加

干式投加是由给料设备将粉末活性炭投入到射流混合器，由射流混合器将粉体与射流载体（水），在其传质腔内强制分散成均匀的悬浊液，再利用水流的剩余动能输送至投加点与待处理水急剧混合和扩散。习惯上有时也将投加含炭 20%~50%的浓浆称作干投。

干式投加无需浆液单独制备过程，活性炭投料与浆液制备同时完成，避免了旋转设备与活性炭浆液接触，减少投加泵类设备的磨损，无需对投加的浆液进行计量，工艺简洁，设备数量少，占地面积小。

2. 湿式投加

湿式投加由给料设备将粉末活性炭投加到浆液制备池/罐中，与水混合，制备成活性炭浆液，再利用计量泵或重力自流至投加点。

湿式投加是传统的粉炭投加方式，浆液制备采用机械搅拌，混合时间一般不低于 30min。为避免配置过程产生的粉尘弥漫制备间，以及潮湿的含粉尘气体粘附输送螺旋影响输送精度和准确度，宜选择高效合理的除尘方式。浆液制备过程服务水应充足，服务水应设置过滤器，避免杂质进入，造成设备故障。

湿式投加工工艺成熟，运行稳定，安装维护简便，粉体与水充分混合，浆液均匀性好，可采用模块化集成设计，智能自动化控制，但设备数量相对较多，设备成本高，当处理规模大时投加系统占地面积较大。

二、制备浓度

粉末活性炭浆液制备浓度宜根据投加量、投加设备、粉体与水混合效果等因素确定。浆液制备浓度过高，湿式投加易造成投加泵磨损和输送管道堵塞，浓度过低，需配备大容积的浆液制备池和大功率搅拌电机或大功率射流混合装置，经济性较差。

浆液调配浓度一般为 5%~8%，使用量大时可提高到 10%，使用量小时可降低到 3%~5%。为使炭液快速扩散，与待处理水充分混合，可采用压力水稀释强制扩散，浓度降低至 1%~3%。

三、系统组成

粉体精确计量、固液高效混合、浆液稳定投加是粉末活性炭投加系统的关键要求。粉炭投加系统一般包括给料机、浆液制备装置、计量设备、投加设备、控制系统等。给料机应具有 10 倍~20 倍宽计量范围，宜采用相嵌式双螺旋给料机。

干式投加应配备射流混合装置，包括增压泵，射流混合器、真空压力变送器、阀门等附属设备及控制系统。

湿式投加应配备浆液制备池、搅拌器、投加泵、给水计量设备、出液计量设备、除尘设备、阀门等附属设备及控制系统。除尘设备应按照最大运行量配置；浆液池一般设置不少于 2 个，交替使用；投加泵通常选用数字泵。

当投加系统使用压缩空气时，一般采用活塞式或螺杆式空压机，目前主要采用螺杆式空压机。

第六章 其他工艺设计

第一节 臭氧-生物滤池

一、设计要点

- (1) 根据水质特性和处理目标，可选用 1 级~2 级臭氧-生物滤池；
- (2) 臭氧氧化应以提升有机物可生化性为目标，根据水质特性等确定接触时间和臭氧投加量。宜通过试验或参照相似工程的运行经验确定，无数据参照时，氧化接触时间宜为 10min~40min，臭氧投加量宜为 3mg/L~15mg/L；
- (3) 滤料可选择重质或轻质滤料，粒径宜为 3mm~5mm；
- (4) 生物滤池空床水力停留时间宜为 30min~60min，水力负荷宜为 $4\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 12\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ；
- (5) 生物滤池应根据水头损失、滤料性能等确定冲洗周期、冲洗方式与强度等，生物滤池宜采用气水联合冲洗，按气洗、气水联合洗、水洗依次进行。气冲洗强度宜为 $10\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 15\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，历时 3min~5min，水冲强度宜为 $4\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})\sim 6\text{L}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，气水联合冲洗时间宜为 4min~6min，单独水冲洗时间宜为 6min~10min；反冲洗周期宜为 24h~72h；
- (6) 当有机物去除负荷较高时，生物滤池宜设置曝气系统；
- (7) 生物滤池宜采取避光措施，避免阳光直射，防止藻类滋生及蚊虫产卵繁殖；
- (8) 室内设置的臭氧-生物滤池池面上部空间应采取防止臭氧泄露和强化通风措施。

二、主要设施设备

- (1) 臭氧氧化：主要包括臭氧发生器、臭氧投加装置、接触池设施、尾气消除装置等，主要设备及选型配置与臭氧氧化工艺设计相同。
- (2) 生物滤池：主要包括滤池设施、配水配气装置、冲洗水泵、冲洗风机等，主要设备及选型配置可参考现行滤池相关标准的规定。

第二节 臭氧溶气气浮

一、设计要点

- (1) 气浮池按照水流方向可分为平流式和竖流式，按几何形状可分为矩形和圆形。臭氧溶气气浮建议采用气水逆流形式；
- (2) 气浮池设计参数宜通过试验或参照相似工程的运行经验确定，无数据参照时，竖流式气浮池，接触室与分离室流速、有效水深等可参照现行气浮相关标准的规定，水力负荷宜为 $10\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})\sim 30\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ，水力停留时间宜为 10min~25min；
- (3) 应根据水质特性和处理目标确定混凝剂及臭氧投加量，宜通过试验或参照相似工

程的运行经验确定，无数据参照时，臭氧投加量宜为 4mg/L~10mg/L；

(4) 溶气罐的液位应与加压水泵的运行联动，工作压力宜为 0.4MPa~0.6MPa；

(5) 加压水回流比宜为 10%~20%；

(6) 室内设置的气浮池池面上部空间应采取防止臭氧泄露和强化通风措施。

二、主要设施设备

1. 混凝池

混合池内宜设机械混合装置，宜采用变频调速设备；絮凝池一般不宜少于两格。若采用机械絮凝，建议采用变频调速设备。应设置药剂储存设施、加药泵等设备。

2. 臭氧发生及尾气处理系统

主要包括臭氧发生器、尾气消除装置等，主要设备及选型配置可参考臭氧氧化工艺设计。

3. 溶气加压系统

主要包括溶气罐、空压机、加压水泵等。溶气罐应设置安全阀、水位、压力仪表及自控装置等，顶部最高点设排气阀，材质应耐臭氧腐蚀。

4. 气浮池

主要包括溶气释放器、刮渣机及其附属设备等。气浮池应加盖密封，并设置臭氧尾气消除装置。溶气释放器释放的微气泡应细密、均匀，微气泡直径宜控制在 30 μ m~70 μ m。释放器的选型和数量应根据单个释放器在选定压力下的出流量及作用范围确定。矩形气浮池采用桥式或链条式刮渣机，圆形气浮池采用中心驱动或周边驱动刮渣机。

第三节 纳滤

一、设计要点

(1) 应根据纳滤进水水质要求及处理目标等选择预处理工艺，纳滤进水应尽可能没有余氯和臭氧等氧化物，余氯不超过 0.1mg/L；进水浊度宜低于 0.5NTU，淤泥密度指数采用中空纤维膜时不超过 3，采用卷式膜时不超过 5；

(2) 预处理单元使用的化学药剂宜为非聚合物，若采用聚合物，应采用非离子或阴离子型聚合物；

(3) 应根据水质特性和去除目标选型膜元件，宜选择对有机物有较好去除效果的纳滤膜；

(4) 纳滤系统设计通常以进水水质、产水水质与产水流量三项为依据，以回收率、膜组件数量及膜组件排列为关键设计参数，优化回收率、操作压力等技术参数，获得投资成本和运行成本等经济指标；

(5) 设计参数主要包括操作压力、回收率、产水水质、平均水通量、膜单元（膜数量、

排列方式、操作过程)等;

(6) 纳滤系统各级、各段可采用不同类型的膜元件, 通过膜元件组合调整无机物/有机污染物的脱除率;

(7) 多段纳滤系统可将部分浓缩液回流循环到段前进水的方式提高回收率。采用流量平衡的大型多段系统, 宜采用段间增压泵将供水压力提高到后一段, 以降低前一段的进水压力, 节省能源;

(8) 当以有机物去除为主时, 纳滤系统浓水侧有机物得到了多倍浓缩, 应采取有效的措施妥善处理处置浓水。

二、膜组件排列形式

对预处理单元及纳滤系统进行优化设计是保障纳滤低成本和高稳定性运行的关键。纳滤系统设计应综合考虑浓差极化、产水水质、产水水量及压降等参数, 宜根据产水量、回收率及水质等因素, 采用纳滤元件制造商的专业软件确定系统级数与段数。

当一级纳滤对有机物去除率不能达到水质要求或为获得高质量的产水时, 可采用多级处理; 为提高回收率, 可采用多段形式。一段回收率 $\leq 50\%$, 两段回收率为 $75\% \sim 80\%$, 三段回收率为 $85\% \sim 90\%$, 通常可采用一级二段或一级三段形式。去除有机物的纳滤系统, 设计回收率不宜高于 85% 。采用多段形式时, 第二或第三段组件的数量通常是前一段组件数量的 50% 。

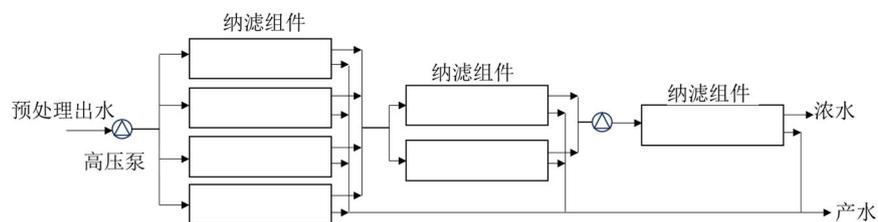


图 6-1 三段式纳滤系统示意图

三、主要设备

- (1) 预处理单元: 纳滤供水泵、保安过滤器及药剂投加泵等。
- (2) 纳滤系统: 高压泵、增压泵、膜组件及监测与控制设备等。
- (3) 冲洗及化学清洗系统: 冲洗水泵、清洗水泵、清洗水箱、药剂投加泵及控制设备等。

第七章 运行管理

第一节 运行与维护

一、总体要求

(1) 难降解有机物强化去除设施的运行、维护及安全管理应按照《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》CJJ60 及相关技术要求执行；

(2) 应建立运行管理制度，并根据设备制造商提供的说明书、维护手册的相关规定，建立关键设备操作手册或操作规程，并按相关规程要求等进行日常运行操作与维护管理；

(3) 运行管理和操作人员应具备合格的运行管理技能、操作技能、安全生产知识、以及必要的电气知识，掌握紧急救护和触电急救方法，并配备合适的专业设备；

(4) 应充分考虑有机物强化去除单元与生物处理、其他深度处理单元之间运行的协调性与联动性；

(5) 应根据实际处理水量、水质变化和出水水质以及环境条件等灵活调整氧化剂、吸附剂及其他药剂的投加量和运行参数；

(6) 建构筑物设施应定期检修，必要时排空检查、清洗，对需防腐处理的，应定期检查防腐情况并及时处理。臭氧接触池一般应每 1 年~3 年进行放空检查和清洗，活性炭（焦）吸附池应至少 2 年放空检查一次；

(7) 设备、管道及阀门、仪表以及其他附属设备等宜每日检查其运行状况、工作状态，定期维护、保养、校验、检修及大修等，定期观察及检查设备仪表的显示数据。发现异常或故障时，应及时处理；

(8) 应做好日常检查及维护的记录，运行数据整理（水流量，气体流量，设备仪表显示的压力、温度、浓度等，药剂用量等），健全相关运行记录档案；

(9) 每批吸附剂、氧化催化剂、其他药剂在进厂、久存后和投入使用前应按照国家、行业相关标准进行检验；未经检验或者检验不合格的产品，不得投入使用；

(10) 处理过程中产生的废水、废液、废气、废渣（污泥、废弃炭（焦））根据其性质，应规范、安全处理处置，以达到国家标准相关要求。

二、臭氧氧化

(1) 臭氧在水中的溶解度与水温呈反比关系，水温越低臭氧越易溶于水，冬季低温时应注意臭氧溶于水的情况，特别是在臭氧高投加量时适当调整投加量；

(2) 采用催化剂法进行臭氧尾气处理时应检查、判断催化剂是否可有效工作到下一个维护周期，并及时更换失效的催化剂；

(3) 臭氧尾气消除装置的抽气风机应根据臭氧发生装置的实际供气量适时调节抽气量；

(4) 臭氧发生器启动前必须保证与其配套的供气设备、冷却设备、监控设备等正常运

行；

(5) 设备、阀门、管道等检修维护前应对臭氧等气体进行吹扫、卸压；接触池压力人孔盖开启后重新关闭时，应及时检查法兰密封圈是否破损或老化，当发现破损或老化时应及时更换；

(6) 应建立臭氧泄露的常规处理方案和应急处理方案；遇到突发事件时，应先切断气源供应，并立即停止臭氧发生器运行；投加系统发生异常或故障时，应立即关闭臭氧发生器电源停止产生臭氧；

(7) 臭氧发生间有臭氧泄漏时，应迅速启动排风装置，并佩戴好防毒面具。

三、活性炭（焦）吸附

1. 颗粒活性炭（焦）吸附

(1) 应根据进水水质、水头损失、去除效果、炭（焦）是否流失等情况灵活调整活性炭（焦）池的冲洗强度与冲洗周期。冲洗时要加强观察，保证池内炭（焦）冲洗充分，防止炭（焦）流失，冲洗后炭（焦）层分布均匀；

(2) 应定期检测炭（焦）池水头损失、炭（焦）层厚度、吸附滤速、冲洗强度，宜每月检查1次~2次；

(3) 设有初滤水排放设施的炭（焦）池，宜将初滤水排放，待出水浊度符合要求时，方可结束初滤水排放。没有设置初滤水排放设施的炭（焦）池，宜在冲洗结束后静置30min以上；

(4) 宜将处理后水质能否稳定达到目标要求和炭（焦）技术性能指标结合判定颗粒活性炭（焦）的失效标准，应每年评估炭（焦）吸附性能，及时更换或补充炭（焦）；

(5) 新炭（焦）或再生后的炭（焦）应采用水做充分浸渍7d~10d后再投入运行，经数次冲洗去除炭（焦）层中的细小颗粒，待出水浊度稳定后方可停止冲洗；炭（焦）投加到设计高度待炭（焦）层稳定后，宜进行炭（焦）层高度的测量；

(6) 炭（焦）更换后应加强活性炭（焦）池的运行管理，增加巡视频率，做好运行记录；

(7) 短期停用的活性炭（焦）池，应将炭（焦）浸泡在水中。停用后的活性炭（焦）池恢复运行前，应进行炭（焦）浸泡、冲洗，待炭（焦）池出水水质合格后方可投入运行。

2. 粉末活性炭吸附

(1) 应根据原水水质、出水水质和排泥浓度等，综合确定粉炭与沉淀耦合工艺、炭吸附澄清池的泥位控制值、污泥回流量、排泥时间和排泥周期等；

(2) 粉炭与沉淀耦合、炭吸附澄清工艺停运3d以上时，沉淀、澄清单元需放空，粉炭停止投加后，应采用清水冲洗投加管路；

(3) 袋装的粉炭应存放于室内，不得与其他化学物品共同存放，尤其避免与强氧化性药品及碳氢化合物接触，禁止明火。干式粉炭的贮存应注意防止压密及吸湿现象，必要时

可定期送入干燥空气；

(4) 粉炭设备操作间应注意防尘防爆，室内禁止明火操作。出现粉尘泄露时，应佩戴好安全防护器具进入现场进行处理。工作场所严禁吸烟，远离易燃、可燃物；

(5) 粉炭开包装卸时，操作人员需穿着防尘护具进行作业；

(6) 料仓内粉炭在长期闲置时，宜每月开启破拱设施，避免物料板结；

(7) 湿式投加配制活性炭浆液时，应连续搅拌，停止配药后应将罐内清空，避免炭粉淤积搅拌桨，造成下次气动扭矩过载损坏电机；

(8) 宜加强粉炭投加设备的计量和检修保养工作；

(9) 储料仓、浆液配制池、配管、阀类等设施设备与粉炭相接触的部分应进行相应的维护保养，定期检修，更换易损部件并重新进行防腐处理。

四、生物滤池

(1) 生物滤池挂膜初期或滤料表面生物膜生长情况不佳时，宜降低滤池反冲洗频次和反冲洗强度；

(2) 生物滤池应注意水头损失变化，根据水头损失、出水水质等情况进行冲洗，反冲洗时要控制冲洗强度，不应对生物膜造成大的破坏；

(3) 采用生物活性炭工艺时，应根据进出水水质定期更换活性炭以确保有机物去除效果；更换活性炭时宜保留部分旧炭以利于炭床中生物膜的生长，保留量宜大于 10%。换炭后至稳定运行期间，应加强活性炭池的运行管理，增加巡视频率及出水水质监测等；

(4) 生物活性炭更换过程主要包括失效活性炭卸出、新活性炭或再生活性炭装填、炭层浸泡及冲洗、废水与废炭的收集及处置等。生物活性炭的卸出与装填宜采用水力方式进行。活性炭装填完毕后宜采用其他炭池出水对炭床进行浸泡和冲洗。

五、气浮

(1) 注意观察并控制溶气罐合理液位，保证溶气效果；调整空压机的供气量，保证溶气罐稳定的工作压力；

(2) 注意观察气浮池池面情况，如发现接触区局部冒出大气泡，浮渣面不平，应检查释放器情况，对释放器进行清洗或更换；

(3) 要掌握浮渣积累规律，根据浮渣堆积厚度及适宜浮渣含水率确定合理的刮渣周期。

六、纳滤

(1) 纳滤系统应根据产水量、水质、进水和浓水间的压差以及系统运行状态等确定膜清洗周期和药剂，根据实际需要、运行状态等灵活调整膜组件进水、产水和浓水的流量等；

(2) 纳滤系统正常启动时应按流程顺序逐个启动进水泵或增压泵，应缓慢逐渐加大水泵的产水量和出水阀的开度；

(3) 纳滤系统正常停运时应先停止出水，再停止进水，应缓慢逐渐降低水泵的产水量

和出水阀的开度，直至水泵完全停止和阀门完全关闭；

(4) 纳滤系统停运时，应按照说明书的要求对膜元件进行停运保护。短期停运应进行物理清洗后注满洁净水并定期更换，长期停运应先进行化学清洗，再注入杀菌液并定期更换，以防止细菌滋生。纳滤装置重新投入使用前，应在装置产水阀和排放阀全部打开的状态下，对装置进行物理清洗；

(5) 纳滤系统清洗、停机后再次启动，产水水质满足要求后方可进入产水水池。

第二节 检测与监测

难降解有机物强化去除效果受进水水质及组成、接触时间、水温、氧化剂投加量或吸附剂用量等因素影响，需要对强化去除系统的进出水有机物相关指标、必要运行参数、状态参数等进行检测和监测，并采取优化运行策略措施，保障难降解有机物强化去除系统的稳定高效运行。

(1) 定期监测难降解有机物强化去除单元进出水及前处理单元进水的 COD、SS，必要时可增加 DOC、浊度、pH、UV₂₅₄、色度等水质指标；

(2) 当在进水水质发生变化、系统出现问题或故障恢复运行、停运后启动运行、更换吸附剂等情况下，应加强对难降解有机物强化去除单元进出水水质的监测；

(3) 反映运行状态的压力、气体流量、水位等参数，以及关联装置设备联动、预警或报警所需阈值的检测或监测宜设置在线仪表，并做好系统调控；

(4) 颗粒活性炭（焦）使用过程中，定期评估活性炭（焦）的性能状态。每季度对炭（焦）层厚度进行一次检测，且每年进行不少于一次的炭（焦）抽样检测，检测指标主要包括活性炭（焦）碘吸附值、亚甲蓝吸附值、粒径分布、粒度、机械强度等；

(5) 可定期对生物滤池生物量、生物活性进行监测，特别是更换滤料后，宜加强对生物量、生物活性的监测。

附录 A 天津市北塘污水处理厂案例

一、建设单位和地点

建设单位：天津滨海新区环塘污水处理有限公司。

建设地点：滨海新区北塘镇杨北创业村附近。

二、工程规模与处理工艺

设计规模为 15 万 m³/d。

深度处理工艺流程如图 A-1 所示，难降解有机物去除采用臭氧氧化工艺。

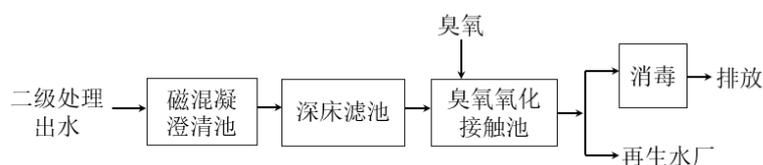


图 A-1 深度处理段流程示意图

二级生物处理出水经过磁混凝澄清池和深床滤池后，进入臭氧氧化接触池去除难降解有机物，接触池出水部分消毒后排放，其余部分进入再生水厂。

三、设计水质

厂进水中生活污水占比约 70%，工业废水占比约 30%，出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》DB12/599-2015 A 标准，其中污染物排放浓度限值 COD≤30mg/L。

臭氧氧化单元设计进出水水质如表 A-1 所示。

表 A-1 北塘污水处理厂氧化单元设计进出水水质

水质指标	COD (mg/L)	pH
设计进水水质	≤45	6-9
设计出水水质	≤30	6-9

四、臭氧接触氧化主要设计参数

设计流量：6250m³/h；

接触池数量：2 座；

接触池单池面积：260m²；

接触时间：50min；

接触池有效水深：8.2m；

去除 COD 量：≤15mg/L，平均 5mg/L；

臭氧投加量：≤160kg/h；

臭氧气体浓度：10wt%。

五、臭氧氧化关键设备

气源系统：液氧源，液氧储罐 50m³，1 个；液氧汽化器 2 台，1 用 1 备；

臭氧发生器：单台臭氧产生量 80kg/h，2 台，1 用 1 备；

冷却水泵：单台流量 250m³/h，2 台；

内循环冷却水泵：单台功率 15kW，流量 138m³/h，3 台，2 用 1 备；

外循环冷却水泵：单台功率 18kW，流量 150m³/h，3 台，2 用 1 备；

射流器：3 套；

臭氧溶气装置：8 台；

增压水泵：9 台，立式离心泵 3 台，2 用 1 备；卧式离心泵 6 台，4 用 2 备；

尾气破坏器：电加热分解法，单台功率 40kW，进气量 880kg/h，2 台，出口浓度 <0.1ppm。

六、运行效果

臭氧氧化接触池进水 COD 为 28mg/L~45mg/L，出水 COD 为 18mg/L~28mg/L。

七、投资及运行成本

臭氧氧化系统直接运行成本（不含人工费）主要为臭氧气源和电耗成本，当地液氧价格为 870 元/t，气源成本为 0.04 元/m³~0.25 元/m³，平均电耗为 0.12kW·h/m³~0.35kW·h/m³，电费 0.70 元/kW·h，电耗成本为 0.08 元/m³~0.25 元/m³，直接运行成本合计为 0.12 元/m³~0.50 元/m³。

附录 B 唐山市南堡经济技术开发区污水处理厂提标工程案例

一、建设单位和地点

建设单位：唐山中荷水务有限公司。

建设地点：河北省唐山市南堡经济开发区四号路北侧。

二、工程规模与处理工艺

设计规模为 12 万 m³/d，其中提标工程规模为 8 万 m³/d。

提标工程深度处理工艺流程如图 B-1 所示，难降解有机物去除采用臭氧/过氧化氢高级氧化-生物滤池工艺。

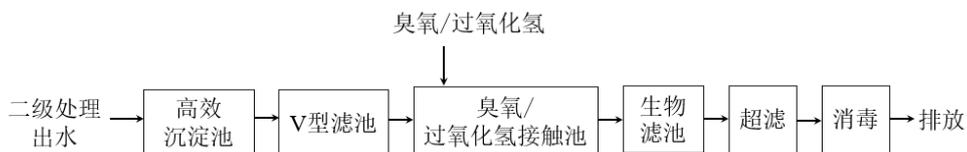


图 B-1 深度处理段流程示意图

二级生物处理出水经过高效沉淀池和 V 型滤池后，出水进入臭氧/过氧化氢接触池去除难降解有机物，生物滤池通过生化作用进一步去除有机物并脱氮，经过超滤去除悬浮物、消毒后排放。

三、设计水质

厂进水中生活污水占比约 70%，化纤工业废水占比约 30%，提标前出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB18918-2002 一级 A 标准，提标后出水 COD 需满足《地表水环境质量标准》GB3838-2002 中 IV 类标准，其中污染物排放浓度限值 COD≤30mg/L。

深度处理段设计进出水水质如表 B-1 所示，其中氧化单元设计进水 COD≤50mg/L，出水 COD≤30mg/L。

表 B-1 南堡经济开发区污水处理厂深度处理段设计进出水水质 (mg/L)

水质指标	COD	BOD ₅	TN	NH ₃ -N	TP
设计进水水质	≤50	≤10	≤15	≤5(8)	≤0.5
设计出水水质	≤30	≤6	≤15	≤1.5(2.5)*	≤0.3

注：* 括号外数值为水温>12℃时控制指标，括号内数值为水温≤12℃ 时控制指标

四、臭氧/过氧化氢高级氧化-生物滤池主要设计参数

1. 臭氧/过氧化氢高级氧化

设计流量：3333m³/h；

接触池数量：4 座；

接触池单池面积：250m²；

接触时间：90min；

有效水深：6.0m；

去除 COD 量：20mg/L；
臭氧投加量：30mg/L，100kg/h；
过氧化氢投加量：10mg/L，33.3kg/h。

2. 生物滤池

设计流量：3333m³/h；
数量：4 座，单座 5 格；
单格面积：50m²；
滤料类型：网状大孔结构悬浮填料；
滤池高度：6.5m；
滤层厚度：2.16m；
滤层截面推流流速：18m/h；
去除 COD 量：10mg/L。

五、臭氧/过氧化氢高级氧化-生物滤池关键设备

1. 臭氧/过氧化氢高级氧化

气源系统：液氧源，液氧储罐 50m³，1 个，液氧汽化器 1 台；
臭氧发生器：单台臭氧产生量 100kg/h，1 台；50kg/h，2 台；
冷却水泵：单台流量 250m³/h，2 台；
射流器：2 套；
过氧化氢投加泵：单台功率 0.75kW，3 台，2 用 1 备；
尾气破坏器：2 台，1 用 1 备。

2. 生物滤池

滤料数量：2160m³；
鼓风机：空气悬浮风机，单台功率 110kW，3 台，2 用 1 备。

六、运行效果

臭氧/过氧化氢高级氧化-生物滤池运行稳定，臭氧/过氧化氢高级氧化接触池进水 COD 低于 50mg/L，出水 COD 为 30mg/L~40mg/L，生物滤池出水 COD 为 20mg/L~30mg/L，TP 小于 0.3mg/L，NH₃-N 小于 1.5mg/L，SS 小于 15mg/L。

七、投资及运行成本

臭氧/过氧化氢高级氧化设备投资成本为 200 元/m³~260 元/m³，生物滤池设备投资成本为 200 元/m³~240 元/m³。

臭氧/过氧化氢高级氧化直接运行成本（不含人工费）主要为臭氧气源、过氧化氢药耗和电耗成本，当地氧气气源价格为 1000 元/t，气源成本为 0.30 元/m³，过氧化氢（30%）价格为 1200 元/t，过氧化氢药剂成本为 0.02 元/m³，平均电耗为 0.33kW·h/m³，电费 0.6 元/kW·h，电耗成本为 0.20 元/m³，直接运行成本合计为 0.52 元/m³；生物滤池直接运行成本

(不含人工费) 主要为电耗成本, 为 0.04 元/m³。

附录 C 长春市南部污水处理厂提标扩建工程案例

一、建设单位和地点

建设单位：长春城投建设投资（集团）有限公司。

建设地点：长春市高新区飞跃路 2288 号。

二、工程规模与处理工艺

设计规模为 10 万 m³/d。

提标扩建工程处理工艺流程如图 C-1 所示，MBR 出水进入臭氧催化氧化池去除难降解 COD，出水消毒后排放。臭氧催化氧化为均相催化氧化工艺。

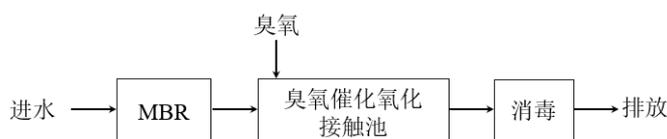


图 C-1 深度处理段流程示意图

催化氧化接触池内设置均相催化反应器，MBR 出水通过均相催化反应器后依次进入接触池内第一至第三反应段，实现难降解有机物的氧化分解。臭氧采用三段投加方式，第一段臭氧投加量为总气量的 40%，第二、三段投加量均为总气量的 30%。

三、设计水质

厂进水为生活污水和少量工业废水，提标后出水执行《城镇污水处理厂水污染物排放标准》DB11890-2012 中新（改、扩）建城镇污水处理厂 B 标准，其中污染物排放浓度限值 COD \leq 30mg/L。

氧化单元设计进出水水质如表 C-1 所示。

表 C-1 南部污水处理厂氧化单元设计进出水水质

水质指标	COD (mg/L)	SS (mg/L)	pH
设计进水水质	\leq 50	\leq 5	6-9
设计出水水质	\leq 30	\leq 5	6-9

四、臭氧催化氧化主要设计参数

设计流量：5417m³/h；

接触池数量：1 座；

接触池单池面积：1520 m²（含池体和泵房）；

均相催化反应器体积：1.5m \times 1.5m \times 2.5m；

接触时间：60min；

接触池高度：9.05m；

脱气时间：3.5min；

去除 COD 量：20mg/L；

臭氧投加量：24mg/L，130kg/h；

臭氧气体浓度：148mg/L，10wt%。

五、臭氧催化氧化关键设备

气源系统：液氧源，液氧储罐 80m³，1 个；液氧汽化器 1 台；

臭氧发生器：单台臭氧产生量 55kg/h，4 台，3 用 1 备；

冷却水泵：4 台；

臭氧溶气装置：单套装机功率 0.75kW，8 台；

二次混合设备：8 台；

增压水泵：单台装机功率 55kW，10 台，8 用 2 冷备；

均相催化氧化反应器：单台装机功率 24kW，2 台；

尾气破坏器：2 台，1 用 1 备。

六、运行效果

臭氧催化氧化接触池进水 COD 为 30mg/L~40mg/L，出水 COD 为 25mg/L~30mg/L。

七、投资及运行成本

臭氧催化氧化系统直接运行成本（不含人工费）主要为臭氧气源和电耗成本，当地液氧价格为 720 元/t，气源成本为 0.17 元/m³，平均电耗为 0.30kW·h/m³，电费 0.75 元/kW·h，电耗成本为 0.23 元/m³，直接运行成本合计为 0.40 元/m³。

附录 D 晋江泉荣远东污水处理厂案例

一、建设单位和地点

建设单位：晋江泉荣远东污水处理有限公司。

建设地点：泉州市晋江市安济路与东华路交叉口往南约 100 米。

二、工程规模及处理工艺

设计规模为 10 万 m³/d。

全厂工艺流程为原水→粗格栅→污水提升泵站→细格栅→沉砂池→水解酸化和厌氧池→生物处理池（氧化沟+AAO）→高密沉淀池→臭氧接触池→生物滤池→反硝化深床滤池→消毒→排水。

工程深度处理工艺流程如图 D-1 所示，难降解有机物去除采用臭氧-生物滤池工艺。

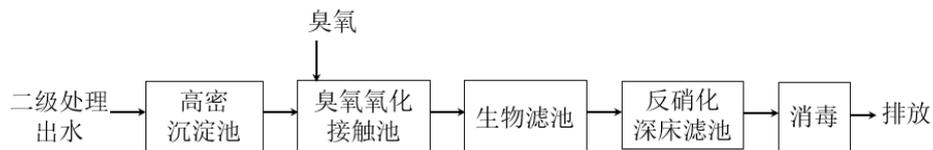


图 D-1 深度处理段流程示意图

生物二级处理出水经过高密沉淀池去除悬浮物后，上清液进入臭氧-生物滤池去除难降解有机物，滤池出水进入反硝化滤池脱氮，消毒后排放。

三、设计水质

厂进水为生活污水和来自工业园区的工业废水，工业废水主要以制革废水和印染废水为主，出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB18918-2002 一级 A 标准，其中污染物排放浓度限值 COD≤50mg/L。

臭氧-生物滤池设计进出水水质如表 D-1 所示。

表 D-1 泉荣远东污水处理厂臭氧-生物滤池设计进出水水质（mg/L）

水质指标	COD	SS	BOD ₅	TN	NH ₃ -N
设计进水水质	≤75	≤25	≤20	≤20	≤5(8)
设计出水水质	≤50	≤10	≤10	≤20	≤5(8)

四、臭氧-生物滤池主要设计参数

1. 臭氧氧化

设计流量：5417m³/h；

接触池数量：2 座；

接触时间：15min；

有效水深：7.2m；

去除 COD 量：25mg/L；

臭氧投加量：30mg/L，100kg/h；

臭氧气体浓度：10wt%。

2. 生物滤池

设计流量：5417h³/h；

数量：8座；

单池面积：78m²；

滤料类型：多孔陶料；

过流方式：下向流；

池型：V型滤池；

水力停留时间：28min；

水深：4m；

滤层厚度：1.5m；

去除 COD 量：10mg/L；

冲洗周期：48h；

冲洗方式：气冲洗-气水联合冲洗-水冲洗。

五、臭氧-生物滤池关键设备

气源系统：液氧源，液氧储罐 50m³，1个；液氧汽化器 1台；

臭氧发生器：单台臭氧产生量 25kg/h，4台；

冷却水泵：4台；

曝气盘：刚玉曝气盘；

尾气破坏器：2台，1用1备；

滤料数量：1000m³；

鼓风机：单台功率 45kW，3台；

冲洗水泵：单台功率 22kW，3台。

六、运行效果

臭氧-生物滤池运行稳定，臭氧氧化接触池进水 COD 为 45mg/L~75mg/L，出水 COD 为 45mg/L~60mg/L，生物滤池出水 COD 为 35mg/L~50mg/L。

附录 E 泰兴经济技术开发区污水处理厂案例

一、建设单位和地点

建设单位：泰兴经济技术开发区污水处理厂。

建设地点：江苏泰兴经济技术开发区。

二、工程规模及主体工艺

设计规模为 5 万 m³/d。

污水处理主工艺流程为 Nitrotor®活性污泥反应池→二沉池→高密度澄清池→V 型滤池→臭氧氧化接触池→生物滤池→氧化还原池→颗粒活性炭吸附罐→消毒→排水。

工程深度处理工艺流程如图 E-1 所示。

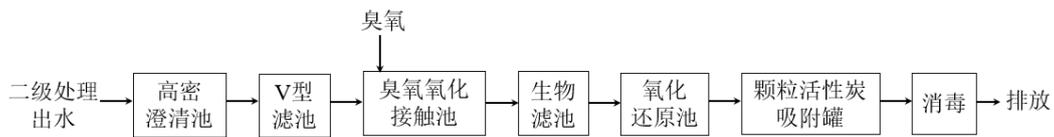


图 E-1 深度处理段流程示意图

三、设计水质

厂出水 COD、NH₃-N、TP 执行《地表水环境质量标准》GB3838-2002 中 IV 类标准，其中污染物排放浓度限值 COD≤30mg/L，其他污染物执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB18918-2002 一级 A 标准。

颗粒活性炭吸附罐设计进水水质：COD≤50mg/L；

颗粒活性炭吸附罐设计出水水质：COD≤30mg/L。

四、颗粒活性炭吸附主要设计参数

设计流量：2188m³/h；

吸附罐数量：16 座，14 用 2 备，并联；

单罐面积：10m²；

过流方式：上向流；

空床接触时间：30min；

炭层厚度：7.5m；

滤速：15m/h；

水深：11.7m；

去除 COD 量：20mg/L；

冲洗周期：设计 2d，实际运行 4d~7d；

冲洗方式：先气冲洗后水冲洗；

再生周期：3 个月~6 个月；

排炭方式：压力排炭；

再生方式：厂外再生。

五、颗粒活性炭吸附罐关键设备

活性炭数量：75m³/罐；

鼓风机：单台功率 30kW，气量 60Nm³/h，2 台，1 用 1 备；

冲洗水泵：采用进水水泵，单台功率 30kW，流量 350m³/h，扬程 30m；

冲洗排水泵：单台功率 7.5kW，流量 100m³/h，扬程 15m，3 台，1 用 2 备；

装/卸炭水泵：单台功率 11kW，流量 70m³/h，扬程 27m，2 台，1 用 2 备；

冲洗废水池潜水搅拌器：单台功率 2.5kW，3 台。

六、运行效果

颗粒活性炭吸附罐进水 COD 为 30mg/L~50mg/L，出水 COD 为 19mg/L~26mg/L，进水 SS 为 5mg/L~14mg/L，出水 SS 小于 5 mg/L。

附录 F 西安市第六污水处理厂提标改造工程案例

一、建设单位和地点

建设单位：西安市污水处理有限责任公司。

建设地点：西安市北郊绕城高速公路及开发大道以北六村堡村内。

二、工程规模与处理工艺

设计规模为 20 万 m³/d。

工艺流程为：进水→粗细格栅→曝气沉砂池→初沉池→A/A/O 生物池→二沉池→粉末活性炭耦合高效沉淀池→反硝化深床滤池→消毒→排水。

工程深度处理工艺流程如图 F-1 所示。

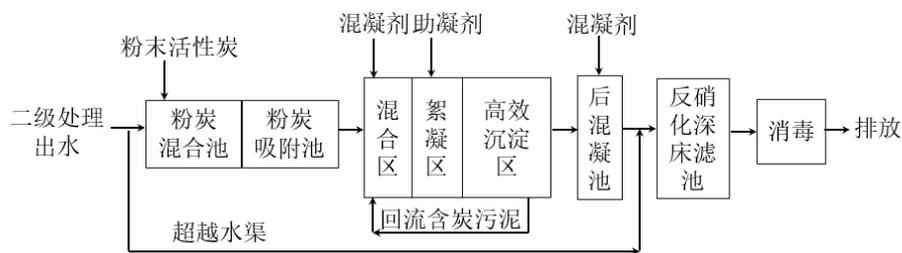


图 F-1 深度处理段流程示意图

提标工程的粉末活性炭与高效沉淀耦合工艺分为粉炭吸附区和高效沉淀池，粉炭吸附区由粉炭混合池和粉炭吸附池组成，高效沉淀池由混合区、絮凝区和沉淀区组成。二级生物处理出水首先进入粉炭混合池投加粉末活性炭，在接触池吸附难降解有机物后，再依次经过高效沉淀池混合区投加混凝剂、絮凝区投加助凝剂，沉淀区部分含粉炭污泥回流至混合区。高效沉淀区出水进入后混凝池和反硝化深床滤池，去除 SS、TP 和 TN 后消毒排放。根据二级处理出水 COD、SS、TP 和 TN 浓度，提标工程也可超越粉炭耦合高效沉淀工艺单元直接进入深床反硝化滤池，消毒后出水排放。

三、设计水质

厂进水主要为生活污水，包含部分工业废水，出水水质执行《陕西省黄河流域是综合排放标准》DB61/224-2018 中 A 标准，污染物排放浓度限值 COD ≤30mg/L。

粉末活性炭耦合高效沉淀设计进出水水质如表 F-1 所示。

表 F-1 西安市第六污水处理厂粉炭耦合高效沉淀单元设计进出水水质 (mg/L)

水质指标	COD	SS	TP
设计进水水质	≤50	≤40	≤2
设计出水水质	<30	<8	<0.3

四、粉炭与高效沉淀耦合工艺主要设计参数

设计流量：10834m³/h；

粉炭吸附区水力停留时间 18.3min，其中混合池停留时间：8min，吸附池停留时间：

10.3min;

粉炭投加点：1 个；

粉炭吸附池：1 座；

粉炭配置浓度：5%~10%；

粉炭投加量：60mg/L；

高效沉淀池数量：4 座；

混凝剂：聚合氯化铝，投加量 80mg/L；

助凝剂：聚丙烯酰胺 PAM，投加量 0.6mg/L；

混合区水力停留时间：2min；

絮凝区水力停留时间：9.5min；

沉淀区面积：256m²；

后混凝池数量：2 座；

后混凝池水力停留时间：1min；

含粉炭污泥回流比：2%~4%。

五、粉炭与高效沉淀耦合工艺关键设备

粉炭吸附区混合池搅拌器：单台功率 11kW，3 台；

粉炭吸附区吸附池搅拌器：单台功率 7.5kW，2 台，单台功率 4kW，1 台；

混合区搅拌器：单台功率 11kW，4 台；

絮凝区搅拌器：单台功率 11kW，变频，4 台；

高效沉淀区刮泥机：单台功率 0.75kW，变频，4 台；

高效沉淀区斜管冲洗风机：单台功率 5.5kW，气量 160Nm³/h，1 台；

污泥回流泵：单台功率 15kW，变频，流量 110m³/h，扬程 20m，2 台，1 用 1 备；

污泥排放泵：单台功率 22kW，流量 110m³/h，扬程 40m，1 台。

六、运行效果

粉末活性炭与高效沉淀耦合单元在粉炭投加量 36mg/L、聚合氯化铝投加量 57mg/L、PAM 投加量 0.6 mg/L 下，进水 COD 为 17mg/L~25mg/L，平均 21mg/L，出水 COD 为 12mg/L~18mg/L，平均 15mg/L；进水 TP 为 0.54 mg/L~1.22mg/L，平均 0.70mg/L，出水 TP 为 0.05mg/L~0.19mg/L，平均 0.13mg/L。

参考资料

1. 《室外给水设计标准》 GB 50013
2. 《室外排水设计标准》 GB 50014
3. 《城镇污水再生利用工程设计规范》 GB 50335
4. 《水处理用臭氧发生器技术要求》 GB/T 37894
5. 《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》 CJJ 60
6. 《污水气浮处理工程技术规范》 HJ 2007
7. 《污水臭氧催化氧化深度处理技术规程》 T/CECS 1347
8. 《水处理气浮技术指南》 T/CECS 20012
9. 北京市市政工程设计研究总院有限公司.《给水排水设计手册（第 5 册 城镇排水第 3 版）》（第二版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2017.
10. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司.《给水排水设计手册（第 3 册 城镇给水第 3 版）》（第三版）[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2017.