

团 体 标 准

T/ACEF 210—2025

硫自养反硝化脱氮工艺设计与运行技术规范

Technical specifications of design and operation for sulfur-based autotrophic
denitrification and nitrogen removal process

2025 - 06 - 20 发布

2025 - 07 - 01 实施

中华环保联合会 发 布

目 次

前 言2

1 范围3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 总体要求 5

5 进水要求 5

6 工艺设计 5

7 主要工艺设备和材料 7

8 检测与控制 7

9 运行与维护 8

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中石化（北京）化工研究院有限公司提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：中石化（北京）化工研究院有限公司、北京天灝柯润环境科技有限公司。

本文件主要起草人：孙杰、陈磊、曹宗仑、陈代露、莫馗、关宏讯、王珺、龚小芝、杨晏泉、李海龙、张宾、郭旻雯、秦琪明。

硫自养反硝化脱氮工艺设计与运行技术规范

1 范围

本文件规定了硫自养反硝化脱氮工艺设计与运行的总体要求、进水要求、工艺设计、设备和材料、检测与控制、运行与维护等内容。

本文件适用于工业废水、城镇污水处理过程中硫自养反硝化脱氮工艺的设计与运行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2449.1 工业硫磺 第1部分：固体产品
- GB/T 5750.4 生活饮用水标准检验方法 第4部分：感官性状和物理指标
- GB 6920 水质 pH值的测定 玻璃电极法
- GB 7493 水质 亚硝酸盐氮的测定 分光光度法
- GB 11901 水质 悬浮物的测定 重量法
- GB 17431.2 轻集料及其试验方法 第2部分：轻集料试验方法
- GB 24188 城镇污水处理厂污泥泥质
- GB 31571 石油化学工业污染物排放标准
- GB/T 43667 钢筋混凝土腐蚀监测技术规范
- CJ/T 299 水处理用人工陶粒滤料
- HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
- HJ/T 251 环境保护产品技术要求 罗茨鼓风机
- HJ/T 252 环境保护产品技术要求 中、微孔曝气器
- HJ/T 278 环境保护产品技术要求 单级高速曝气离心鼓风机
- HJ/T 346 水质 硝酸盐氮的测定 紫外分光光度法（试行）
- HJ 355 水污染源在线监测系统（COD_{Cr}、NH₃-N 等）运行技术规范
- HJ/T 369 环境保护产品技术要求 水处理用加药装置
- HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
- HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
- SL 83 碱度（总碱度、重碳酸盐和碳酸盐）的测定（酸滴定法）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

硫自养反硝化 sulfur-based autotrophic denitrification

硫自养反硝化菌在缺氧环境下利用单质硫（S）、硫化钠（Na₂S）、硫代硫酸钠（Na₂S₂O₃）等还原态硫源作为电子供体，以 CO₃²⁻、HCO₃⁻、CO₂ 作为无机碳源，将 NO₃⁻-N / NO₂⁻-N 转化为 N₂ 的过程。

3.2

硝态氮废水 nitrate nitrogen wastewater

含有氮元素的高价态化合物（主要是硝酸盐、亚硝酸盐）的工业废水、城镇污水。

[来源：HG/T 6268—2024，3.1，有修改]

3.3

反硝化容积负荷 denitrification volumetric loading rate

单位时间、单位体积的硫自养反硝化填料能处理的硝态氮的量，以 $\text{kg N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 表示。

3.4

水力负荷 hydraulic loading rate

单位时间、单位面积的硫自养反硝化滤池能接受的污水水量，以 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 表示。

3.5

水力停留时间 hydraulic retention time

填装填料后，污水通过硫自养反硝化滤池填料层的实际平均停留时间，以 h 表示。

3.6

滤头 filter nozzle

安装在硫自养反硝化滤池中下部承托滤板上用来常规配水、反冲洗配水和反冲洗配气的布水、布气装置。

3.7

滤板 supporting board

固定专用滤头并承载填料的具有一定承载强度和水平精度要求的托板。

3.8

回流比 recycle ratio

采用硫自养反硝化滤池脱氮时，反硝化液回流量与设计进水流量的比值。

3.9

填料堆积密度 filler bulk density

填料在单位容积内的堆积质量，以 g/cm^3 或 kg/m^3 表示。

3.10

填料比表面积 filler specific surface area

单位体积或单位质量的填料具有的表面积，以 m^2/m^3 或 m^2/g 表示。

3.11

填料破碎率 filler crushing rate

填料使用过程中受损、破裂、失效的比例，以百分比表示。

3.12

填料磨损率 filler wear rate

单位时间、单位载荷下的填料磨损比例，以百分比表示。

3.13

填料空隙率 filler clearance rate

填料床中空隙体积与床体总体积之比，以百分比表示。

4 总体要求

- 4.1 硫自养反硝化脱氮工艺设计除应符合本文件规定外，还应符合国家现行有关标准的要求。
- 4.2 硫自养反硝化脱氮工艺宜与硝化工艺组合用于脱除废水中的总氮，也可单独用于处理硝态氮废水。
- 4.3 当与其他污水处理工艺组合应用时，硫自养反硝化脱氮工艺应与上下游处理工艺相衔接；当单独用于脱除废水中硝态氮时，应根据进水水质、水量采取预处理工艺或增设调节设施。
- 4.4 硫自养反硝化脱氮工艺的出水排入下一级处理系统时，出水水质应满足下一级处理系统进水要求；直接向环境排放时，出水水质应符合国家、地方污染物排放标准的规定。
- 4.5 硫自养反硝化脱氮工艺应设置在线检测仪表。

5 进水要求

硫自养反硝化脱氮系统进水水质宜符合下列要求：

- a) 温度宜为 15℃~40℃；
- b) pH 宜为 6.0~9.0；
- c) COD_{Cr} 宜小于 150 mg/L；
- d) 悬浮物宜小于 50 mg/L；
- e) 硝态氮宜小于 500 mg/L，其中亚硝态氮宜小于 50 mg/L；
- f) 溶解性总固体（TDS）宜小于 30000 mg/L。

6 工艺设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 硫自养反硝化脱氮系统包括滤池、填料和菌种。
- 6.1.2 工艺流程选择应根据进水水质及处理要求、技术经济及环境影响等因素分析确定。
- 6.1.3 工艺设计前，应全面调查待处理废水成分、产量及其变化规律，并进行分析试验。

6.2 工艺流程

硫自养反硝化脱氮工艺宜与前端硝化工艺组合使用，工艺流程如图 1 所示。硫自养反硝化滤池反洗水取自中间水池，反洗排水排放至反洗水收集池，再返回前端工艺单元处理。

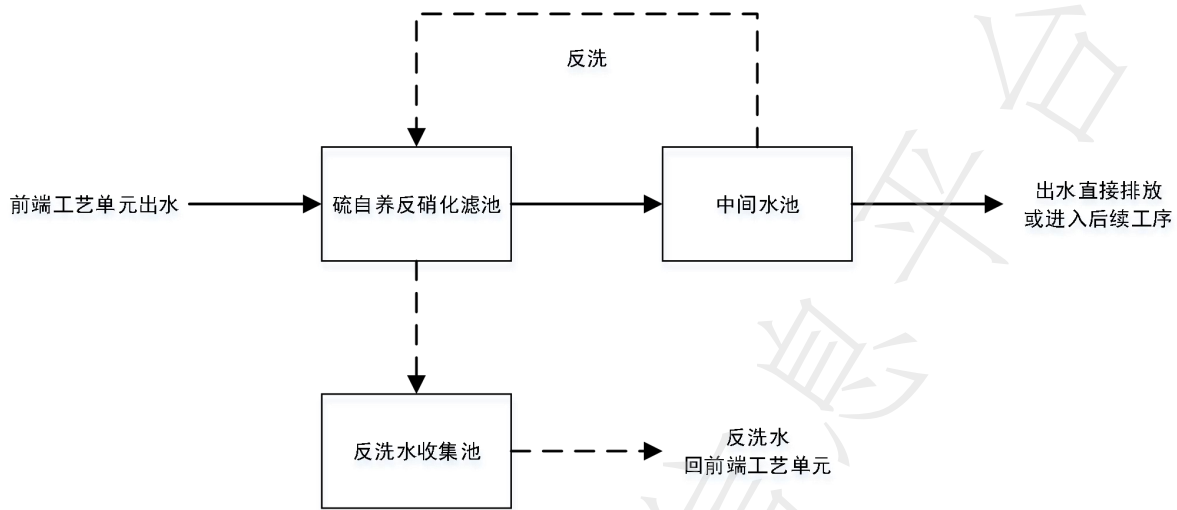


图1 硫自养反硝化工艺流程

6.3 滤池设计

- 6.3.1 硫自养反硝化滤池类型应根据处理规模、水质特性及脱氮要求确定，宜选择固定床滤池。
- 6.3.2 硫自养反硝化滤池应选用耐腐蚀、强度高、可保证长期稳定运行的材质。宜以钢筋混凝土筑造为主，并应采取防渗、防漏措施。钢筋混凝土应符合 GB/T 43667 的要求。
- 6.3.3 硫自养反硝化滤池根据水力流态分为上流式和下流式。上流式反硝化滤池可采用传统的生物滤池结构，宜从下往上分为配水层、承托层、填料层、清水层。下流式反硝化滤池从上往下可分为配水区、填料区、承托层、出水收集区。
- 6.3.4 硫自养反硝化滤池平面形状可采用正方形、矩形或圆形。
- 6.3.5 硫自养反硝化滤池在滤池截面积过大时应分格，分格数不应少于 2 格。单格滤池的截面积宜为 $50\text{ m}^2\sim 100\text{ m}^2$ 。当单格滤池反冲洗时，其他格滤池应正常运行。
- 6.3.6 硫自养反硝化滤池出水系统可采用周边出水或单侧堰出水，反冲洗排水和出水槽（渠）宜分开布置。应设置出水堰板等防止反冲洗时填料流失的装置。
- 6.3.7 硫自养反硝化滤池的容积负荷、水力负荷和水力停留时间宜根据试验结果确定，或可按表 1 取值。

表1 硫自养反硝化滤池主要设计参数

反硝化容积负荷 ($\text{kg N} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$)	水力负荷 ($\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$)	水力停留时间 (h)
0.3~1.5	上向流: 0.3~6 下向流: 0.3~15	2~12

- 6.3.8 硫自养反硝化滤池池体体积宜按容积负荷法计算，按水力负荷校核。
- 6.3.9 硫自养反硝化滤池应设置驱氮设施，驱氮宜采用水洗方式。
- 6.3.10 硫自养反硝化滤池宜选用机械强度高和化学稳定性好的卵石作承托层，并按一定级配布置。
- 6.3.11 硫自养反硝化滤池设计应方便填料补加，配套填料添加装置。
- 6.3.12 硫自养反硝化滤池的滤板宜采用钢筋混凝土或钢制结构，钢筋混凝土材质应符合 GB/T 43667 的要求，滤板上滤头缝隙总面积与滤池过滤面积之比宜为 1.2%~2.4%。
- 6.3.13 硫自养反硝化滤池的滤板采用钢筋混凝土结构时宜选用分体式拼装滤板，并应具有合适的承载强度、水平精度和抗腐蚀性，滤板接缝应采用密封性能好的填充材料密封；在采取足够的措施，满足安装和维护条件下可采取整体现浇结构。
- 6.3.14 填料不具备 pH 自平衡功能时，硫自养反硝化滤池应设置 pH 调节设施。

6.4 填料设计

6.4.1 硫自养反硝化脱氮系统宜根据脱氮需求及来水碱度、 COD_{Cr} 、硬度、硫酸根等水质数据，优选匹配来水水质的填料。

6.4.2 硫自养反硝化脱氮系统的填料可选用采用含硫磺、粘合剂及碱度调节剂等复合材料制成的专用填料。填料检验应符合 GB/T 2449.1、GB17431.2、CJ/T 299 的规定。

6.4.3 硫自养反硝化脱氮系统的填料宜符合下列规定：

- a) 粒径宜取 2 mm~10 mm；
- b) 堆积密度宜为 $750 \text{ kg/m}^3 \sim 1200 \text{ kg/m}^3$ ；
- c) 比表面积宜大于 $10 \text{ m}^2/\text{g}$ ；
- d) 破碎率与磨损率之和宜小于 6%；
- e) 空隙率宜大于 40%。

6.5 反冲洗系统设计

6.5.1 反冲洗宜采用气水联合方式，应依次按单独气洗、气-水联合冲洗、单独水洗执行。

6.5.2 反冲洗水源宜为硫自养反硝化滤池出水，反冲洗水池应至少满足单格滤池 1 个反洗周期的需水量。

6.5.3 反冲洗强度及时间宜结合滤池负荷、过滤时间等因素，根据试验结果确定，或可按表 2 取值。

6.5.4 反冲洗周期根据滤池负荷、过滤时间及滤池水头损失等确定，宜为 15 d~30 d。

6.5.5 反冲洗排水收集池应根据处理规模、单格滤池每次反冲洗水量等因素设置，收集池有效容积不宜小于 1.5 倍的单格滤池反冲洗水量。

6.5.6 反冲洗效果应根据出水水质、滤池过水阻力及水头损失变化等因素判定。

表2 反冲洗强度及时间

项目	单独气洗	气水联合冲洗	单独水洗
强度 ($\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	12~25	气: 12~25 水: 4~16	4~16
时间 (min)	3~10	3~5	3~10

7 主要工艺设备和材料

7.1 硫自养反硝化脱氮系统主要构筑物宜包括硫自养反硝化滤池、中间水池、反洗水收集池、设备间、管廊及设备基础。

7.2 硫自养反硝化脱氮系统关键设备和材料宜包括水泵、鼓风机、布气装置、固定布水器、滤头、滤板、填料及配套阀门、管道、计量仪表等。

7.3 水泵应选用节能型，机械密封应无渗漏；鼓风机宜选用低噪声、低能耗、高效率的产品。

7.4 加药泵流量调节应采用变速或调节冲程方式。

7.5 鼓风机应符合 HJ/T 278 和 HJ/T 251 的规定；曝气器应符合 HJ/T 252 的规定；加药装置应符合 HJ/T 369 的规定。

7.6 滤头应具有防堵可拆洗功能，滤头缝隙应保证填料不从缝隙中流失。

8 检测与控制

8.1 一般规定

8.1.1 检测仪表和控制装置应根据工程规模、工艺组合流程、运行管理要求设置。

8.1.2 检测仪表和自动化控制系统应保证硫自养反硝化脱氮处理装置运行安全可靠、便于运行、改善劳动条件和提高管理水平。

8.1.3 计算机控制管理系统宜兼顾现有、新建和规划要求确定。

8.2 检测

- 8.2.1 来水水温、pH、COD_{Cr}、悬浮物、硝态氮、溶解性总固体、碱度等水质指标宜每日监测。
- 8.2.2 出水pH、COD_{Cr}、硝态氮、碱度等水质指标宜每日监测。
- 8.2.3 硫自养反硝化滤池宜设置溶解氧在线测定仪或氧化还原电位（ORP）在线测定仪。
- 8.2.4 进出水宜设置在线pH测量仪。
- 8.2.5 参与控制和管理的机电设备应设置工作与事故状态的检测装置。
- 8.2.6 硫自养反硝化滤池宜设置总氮等水质指标在线分析仪表。

8.3 控制

- 8.3.1 污水处理厂宜采用集中监视、分散控制的自动控制系统，宜对工艺设备设置现场、PLC 及中控室控制。
- 8.3.2 硫自养反硝化滤池控制系统宜配备反冲洗、驱氮相关程序。
- 8.3.3 反洗气量和回流量宜通过变频器调节。
- 8.3.4 控制系统应具备机电设备事故状态下的安全控制功能。
- 8.3.5 计算机控制管理系统应具有数据采集、处理、控制、管理和安全保护功能。

9 运行与维护

9.1 一般规定

- 9.1.1 硫自养反硝化脱氮处理设施设计过程应同步确定生产事故等非正常工况下的应急措施。硫自养反硝化处理设施所属车间或企业应制定应急预案。
- 9.1.2 硫自养反硝化脱氮系统运行过程应执行经常性和定期安全检查，及时消除事故隐患。
- 9.1.3 硫自养反硝化脱氮系统宜加盖密封，配套废气收集处理设施，并安装硫化氢气体报警器，废气污染物排放应符合GB 31571的规定。
- 9.1.4 硫自养反硝化脱氮系统污泥处置应符合GB 24188的规定。
- 9.1.5 硫自养反硝化脱氮系统的调试运行及管理应配备专业人员和设备。调试运行前应制定设备台账、运行记录、定期巡视、交接班、安全检查等管理制度，以及操作和维护规程等技术文件。

9.2 水质监测

- 9.2.1 硫自养反硝化脱氮系统水质监测应设水质化验室，配备检测人员和仪器。
- 9.2.2 系统正常运行检测指标及方法应符合表3的规定。
- 9.2.3 水质监测应符合 HJ 91.2 的规定，在线水质监测系统运行维护应符合 HJ 355 的规定。

表3 系统正常运行检测指标及方法

序号	检测项目	分析方法
1	pH	GB 6920
2	碱度	SL 83
3	亚硝态氮	GB 7493
4	硝态氮	HJ/T 346
5	总氮	HJ 636
6	COD _{Cr}	HJ 828
7	悬浮物	GB 11901
8	溶解性总固体	GB/T 5750.4

9.3 调试与启动

- 9.3.1 调试过程可分为设备单机调试、清水调试、系统联动调试，调试前应编制调试方案。
- 9.3.2 设备单机调试应做好应急预案。
- 9.3.3 清水调试过程应在设计要求下检查单体构筑物运行状况。

- 9.3.4 系统联动调试应在设计条件下检查设备和各自控系统性能，并模拟设计工况试运行。
- 9.3.5 投运前应一次性加入足量硫自养反硝化填料、接种污泥，逐步启动硫自养反硝化脱氮系统。
- 9.3.6 接种污泥应具有反硝化功能，接种量应根据反应器体积确定，接种宜在 25℃~30℃的水温条件下进行。
- 9.3.7 可通过投加硫自养反硝化菌剂，加快硫自养反硝化脱氮工艺的启动。
- 9.3.8 启动过程中宜每天检测、统计、分析进出水水质、微生物活性及反应器内工况参数。

9.4 运行与控制

- 9.4.1 硫自养反硝化滤池控制指标应符合表 4 的规定。

表4 硫自养反硝化滤池主要操作控制指标

序号	控制指标	单位	控制值
1	进水流量	m ³ /h	不大于设计值
2	进水 COD _{Cr}	mg/L	
3	进水硝态氮	mg/L	
4	温度	℃	15~40
5	pH	—	6~9
6	溶解氧	mg/L	≤2

- 9.4.2 硫自养反硝化滤池正常运行过程中，应通过控制进水阀门，调整进水量；应根据进水水质和水量变化及时调整药剂投加量。
- 9.4.3 硫自养反硝化滤池运行可采用出水回流方式，回流比不宜大于 6.0。
- 9.4.4 硫自养反硝化脱氮滤池运行过程中宜根据填料消耗情况，定期适量补加硫自养反硝化填料。
- 9.4.5 硫自养反硝化滤池应及时进行驱氮操作。反硝化容积负荷不高于 0.5 kg N/(m³·d) 时，每天宜进行 1 次~2 次驱氮；脱氮负荷更高时，宜根据运行情况加大驱氮频次。每次驱氮时间宜为 3 min~5 min。
- 9.4.6 硫自养反硝化滤池正常运行过程中，应及时对滤池进行反冲洗，宜采用自动反冲洗方式。

9.5 维护与保养

- 9.5.1 维护与保养应执行设备操作规程，定时巡视设备温升、响声、振动、电压、电流等，发现问题应检查排除。
- 9.5.2 设备运转部位应保持润滑状态，及时添加润滑油及除锈；发现漏油、渗油情况，应及时解决；及时更换不合格的零部件和易损件。
- 9.5.3 设备维修保养应做好记录。
- 9.5.4 鼓风机和阀门应定期维护保养。
- 9.5.5 控制系统应定期维护保养，并根据实际水质水量情况对自控系统改进完善。
- 9.5.6 布水布气系统应定期检修和清理，检修前应做好滤池底部的通风、换气、照明、预防等准备工作，检修过程应按安全规程执行。