

ICS 13.060.30

CCS N 762

# 团体标准

T/ZZLIA 462001—2025

污水处理铁基质

——复合型自养反硝化生物填料

Iron-based substrate for wastewater treatment

——Composite autotrophic denitrification bio-carrier

2025-10-15 发布

2025-12-16 实施



郑州市轻工业行业协会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第1部分》的规定起草。

本标准由郑州市轻工业行业协会经济研究中心提出。

本标准由郑州市轻工业行业协会标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：北京工商大学、北京铁腾节能环保科技有限公司、北京科学技术研究院资源环境研究所、河南省科学院地理所、西安交通大学、河南工业大学。

本标准主要起草人：王晓伟、胡智丰、邓晋生、张砾、邓时海、王民忠、王心超、于大洋 张明露、唐琪儿。

# 污水处理铁基质——复合型自养反硝化生物填料

## 1 范围

本标准给出了污水处理铁基质复合型自养反硝化生物填料技术要求、检验规则以及包装、贮运和标志等方面的规范。

本产品适用于生活污水、含氮废水尤其低碳氮比污水同步深度脱氮除磷的处理设计和运维，可实现免碳源或低碳源情况下的污水处理。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准

GB 50014 室外排水设计规范

GB/T 37528-2019 脱氮生物滤池通用技术规范

GB/T 26572-2011 电子电气产品中限用物质的限量要求

GB/T 19077-2016 粒度分布、激光衍射法

GB 18485-2014 生活垃圾焚烧污染控制标准

GB/T 1966-2024 多孔陶瓷、显气孔率和体积密度的测定

GB/T 19587-2017 气体吸附 BET 法测定固态物质比表面积

GB/T 1766-2008 色漆和清漆、涂层老化的评级方法

GB/T 5750.6-2023 生活饮用水标准检验方法——金属指标

GB/T 36036-2018 制药机械（设备）清洗、灭菌验证导则

GB/T 44587-2024 食品用脱氧剂包装膜质量通则

GB/T 19789-2021 塑料薄膜和薄片 氧气透过率试验 库仑计检测法

GB/T 26253-2010 塑料薄膜和薄片 水蒸气透过率测定 红外检测器法

HJ 781-2016 固体废物 22 种金属元素的测定——电感耦合等离子体发射光谱法

CJJ 60 城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程

CECS149-2016 城市污水生物脱氮除磷处理设计规程

CJ/T 461-2014 水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料

T/CAQI 224-2021 城镇污水深度处理技术规范

ASTM D3985-24 用库仑传感器测定塑料薄膜和薄片氧气透过率的标准试验方法

GB/T 4857.5-1992 包装、运输包装件、跌落试验方法

GB/T 191-2008 包装储运图示标志

GB/T 30335-2023 药品物流服务规范

GB/T 20197-2006 降解塑料的定义、分类、标识和降解性能要求

HJ 2005-2010 人工湿地污水处理技术规范

GB/T 28747-2012 资源综合利用评价规范

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**低碳氮比污水** Low carbon nitrogen ratio sewage

碳氮比是指污水中的有机物与总氮的比例，即： $BOD/TN$  或  $COD/TN$ ，理论上将 1 g 硝酸氮还原为氮气需要碳源有机物为 2.86 g（以  $BOD$  表示）。而在实际调试过程中，如果以污水作为碳源，一般要求  $C/N$  大于 4~5 才能获得较好的反硝化效果。因此一般污水当进水的  $BOD/TN < 4$  时，可称为低碳氮比污水。

注：参考 GB 50014-2006《室外排水设计规范》

#### 3.2

**反硝化** Denitrification

反硝化是指在缺氧或厌氧条件下，兼性或专性厌氧微生物以硝态氮或亚硝态氮作为末端电子受体，将其依次还原为气态氮氧化物并最终生成氮气，从系统中脱除的生物化学过程，包括自养反硝化和异养反硝化。

注：参考 Q/HZS 007-2023《自养反硝化滤池技术规程》

#### 3.3

**自养反硝化** Autotrophic denitrification

自养反硝化细菌利用无机碳（如  $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$  等）作为碳源，以无机物（如  $H_2$ 、 $S^0$ 、 $S^{2-}$ 、 $S_2O_3^{2-}$ 、 $Fe$ 、 $Fe^{2+}$  等）作为电子供体，把硝态氮或亚硝态氮转化为氮气等气体的过程。自养反硝化按所用无机电子供体的形态，可分为“单质型”和“复合型”两大类。

注：参考 Q/HJT015-2023《自养反硝化填料》

#### 3.4

**复合型自养反硝化** Composite autotrophic denitrification

在缺氧或厌氧条件下，自养菌仅以单一形态的无机电子供体（ $H_2$ 、 $S^0$ 、 $Fe^{2+}$  等）作为能量来源，

将硝态氮或亚硝态氮还原为氮气的脱氮过程。

注：参考 Q/HJT015-2023 《自养反硝化填料》

### 3.5

**铁基质复合型自养反硝化** Iron-based substrate of composite autotrophic denitrification

指以无机物 Fe、Fe<sup>2+</sup>作为主要电子供体，辅助以催化剂、微量元素、粘合剂等，把硝态氮或亚硝态氮转化为氮气等气体的过程。

### 3.6

**功能填料层** Functional filter layer

作为微生物载体并为微生物提供缓释无机电子供体及营养物质，且在过滤过程中对水中固体悬浮物起到过滤作用的材料层。

注：参考辽宁省住房和城乡建设厅. 城镇污水处理厂提标改造技术规程[S]. 2023-09-28.

### 3.7

**承托层** Filter supporting layer

为防止填料从配水系统中流失，在配水系统与填料层之间设置的粒状材料层，它通常由一定级配的卵石或砾石分层铺设而成。

注：参考 Q/HZS 007-2023 《自养反硝化滤池技术规程》

### 3.8

**脱氮生物滤池** Denitrifying Biofilter

以去除 TN 为目的的污水生物处理构筑物，是一种装填有固体反应物（功能填料）用以实现多相反应过程的一种工艺构筑物。微生物附着于活性滤料表面形成生物膜，污水通过功能填料层，依靠微生物对污染物进行分解，使污水得以净化。

注：参考 Q/J-XC-HB009-2022 《除磷脱氮高能氧生物滤池》

### 3.9

**反硝化容积负荷** Denitrification volumetric loading rate

每立方米有效容积单位时间内反硝化的硝酸盐氮量，一般以 kg NO<sub>3</sub>-N/（m<sup>3</sup>·d）为单位。

注：参考 Q/HZS 007-2023 《自养反硝化滤池技术规程》

### 3.10

**滤速** Filtration rate

单位滤池过滤面积在单位时间内的过滤水量，一般以 m/h 为单位。

注：参考 Q/HZS 007-2023 《自养反硝化滤池技术规程》

## 4 技术要求

### 4.1 自养反硝化处理工艺

(1) 自养反硝化处理工艺水力停留时间宜为3 h~6 h，平均滤速宜为1 m/h~3 m/h，峰值滤速及强制滤速宜为3 m/h~4 m/h。

(2) 填料填装高度宜结合占地面积、处理负荷、反洗水泵选型和填料层阻力等因素综合考虑确定，宜为2 m~6 m；

(3) 填料承托层应一般采用多种级配砾石，砾石密度宜不小于2.5 g/cm<sup>3</sup>，各种非砂砾的杂质含量宜不大于1%，盐酸可溶率不大于3%，每层厚度宜为70 mm~100 mm，总厚度宜300 mm~500 mm。

## 4.2 功能填料

	要求	备注
组分	非可溶性的还原态硫、零价铁、硫铁矿、铁碳微电解生物载体等	非可生物利用的杂质含量需不大于1%
原料	硫、铁原料需提供无重金属污染证明，原料需提供重金属检测报告（Pb、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Hg）	无
粒径	采用非均质粒径级配形式，粒径宜为2 mm~10 mm	4 mm~8 mm 粒径占比宜为60%~80%
磨损率和破损率	磨损率和破碎率之和宜不大于2%	无
密度	真实密度不小于1.8 g/cm <sup>3</sup> ，堆密度不小于1.1 g/cm <sup>3</sup>	无
孔隙率	孔隙率≥45%	无
比表面积	比表面积≥500m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	无
消耗比例	消耗比例应为2.0 kg /kg N ~3.5 kg /kg N	无

(1) 功能填料的主要组分可采用非可溶性的还原态硫、零价铁、硫铁矿、铁碳微电解生物载体等，其中非可生物利用的杂质含量应不大于1%。

(2) 功能原料中的硫、铁原料需提供无重金属污染证明，原料需提供重金属检测报告（Pb、Cd、Cr<sup>6+</sup>、Hg质量分数≤0.1%）

(3) 功能填料层应采用非均质粒径级配形式，粒径宜为2 mm~20 mm，其中4 mm~8 mm粒径占比宜为60%~80%。

(4) 功能填料磨损率和破碎率之和宜不大于2%。

(5) 功能填料的真实密度应不小于1.8 g/cm<sup>3</sup>，堆密度应不小于1.1 g/cm<sup>3</sup>。

(6) 功能填料的孔隙率应≥45%。

- (7) 功能填料的比表面积应 $\geq 500\text{m}^2/\text{m}^3$  (BET法)。
- (8) 功能填料的消耗比例应为 $2.0\text{ kg /kg N} \sim 3.5\text{ kg /kg N}$ 。
- (9) 功能填料消耗后应及时补充, 功能填料在固定床中的剩余量宜不少于初始设计填充值的70%, 或根据实际情况及脱氮需求进行补充。
- (10) 功能填料可辅以一些海绵填料及笼式球, 可避免功能填料的板结问题。
- (11) 应采用反冲洗及机械辅助的方式防止功能填料层的结垢、板结等问题。

## 5 检验规则

### 5.1 抽样

批量抽样: 每批次填料按5%随机抽样, 最少抽取3袋。

过程抽样: 运行期间每月至少一次, 采集进水、出水及填料样品。

### 5.2 判定规则 (物理、化学、功能指标)

- (1) 反硝化性能: 若出水TN及TP浓度连续3次检测超过GB 18918一级A标准, 判定为不合格。
- (2) 填料质量: 磨损率+破碎率 $> 2\%$ 或真实密度 $< 1.8\text{ g/cm}^3$ 时, 判定批次不合格。
- (3) 重金属溶出检测: 要求 $\text{Pb} \leq 0.3\text{mg/L}$ ,  $\text{Cd} \leq 0.05\text{mg/L}$ 。
- (4) 耐腐蚀性检测: 需在pH5~9条件下质量损失率 $\leq 2\%$ 。
- (5) 模拟污水测试: 使用CJ/T 461-2014附录A的人工配水 (TN=30mg/L, C/N=2), 要求连续运行7天后TN去除率 $\geq 80\%$ 。
- (6) 抗板结测试: 按HJ 2005-2010中生物滤池堵塞率测定方法, 要求反冲洗周期 $\geq 48$ 小时。
- (7) 生物膜量测定: 采用磷脂脂肪酸 (PLFA) 法, 要求生物膜量 $\geq 50\text{ nmol/g}$ 填料 (参考T/CAQI 224-2021)。
- (8) 微生物多样性: 16S rRNA测序显示Thiobacillus、Pseudomonas等功能菌相对丰度 $\geq 20\%$ 。
- (9) 脱氮除磷性能检验检测: (1) 检测脱氮速率, 运用动态模拟测试 (CJ/T461—2014附录A): 进水TN=30 mg/L, BOD/TN=2, HRT=3 h, TN去除率需 $\geq 85\%$ ; 检测除磷能力使用TP吸附量测试 (GB/T 5750.6-2023), 填料TP吸附量 $\geq 2\text{mg/g}$ ; 检测微生物活性, 新增ATP法 (GB/T 36036-2018)。(2) ATP含量大于等于1000 RLU/g, 生物膜活性达标。

### 5.3 内在质量判定

化学成分: 功能填料中硫、铁含量需符合设计配比 ( $\pm 5\%$ 误差)。

物理性能：堆密度 $\geq 1.1 \text{ g/cm}^3$ ，盐酸可溶率 $\leq 3\%$ 。

#### 5.4 外观质量判定

填料表面无严重板结、结垢，粒径分布符合4 mm~8 mm占比60%~80%。

#### 5.5 复验规则

保质期为未拆封条件下36个月（硫铁矿组分氧化率 $\leq 5\%$ ），超过保质期后需抽检脱氮性能（动态测试法），不合格则降级为“工业级填料”。

### 6 包装、贮运、标志和回收

#### 6.1 包装

材料：编织袋（防水遵循GB/T 44587-2024，隔氧遵循GB/T 24626-2021），封口严密，真空包装。

规格：每袋净重 $25 \text{ kg} \pm 0.2 \text{ kg}$ 或 $50 \text{ kg} \pm 0.5 \text{ kg}$ 。

标识：外包装标注“防潮”、“轻放”标识。

#### 6.2 编码规则要求与标志

内容：国民经济产品编码接近的编号、产品名称、批号、产品型号、规格、出厂日期、批次、数量、生产日期、执行标准、厂家信息、保质期。

位置：每袋正面醒目位置印刷，字体清晰不易脱落。

#### 6.3 贮运

储存：阴凉干燥库房，相对湿度 $\leq 60\%$ ，避免与酸、碱接触，堆高 $\leq 5$ 层，堆码应新增“十字交叉码放”示意图，层间需放置防潮托盘（塑料材质，承重 $\geq 500 \text{ kg/m}^2$ ）。储存环境参数表如下：

参数	允许范围	监控设备
温度	10-25°C	电子温湿度计（ $\pm 1^\circ\text{C}$ 精度）
湿度	$\leq 50\% \text{RH}$	每50 m <sup>2</sup> 设1个监测点

运输：防雨防晒晒，严禁抛掷或重压。内层真空铝箔袋（阻氧率 $\leq 0.1 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{atm}$ ，ASTM D3985）替代聚乙烯薄膜；外层增加防震泡沫层（跌落高度1.5 m无破损，GB/T 4857.5-1992）。另运输标签新增“易氧化-避免潮湿”警示标识（符合GB/T 191-2008）。

## 6.4 回收

### 6.4.1 判定失活与现场回收

(1) 以进出水硝酸盐氮去除率 $<30\%$ 、总磷去除率 $<20\%$ 作为失活判定标准。

(2) 关闭反应器进出水，用原工艺的反冲洗系统（空气+处理出水）进行3-5次高强度脉冲冲洗，把填料充分流化、脱膜，减少后续杂质。

(3) 打开检修人孔，用抓斗或真空吸料车将填料全部清出，装袋并记录批次、失活时间、运行年限。

### 6.4.2 无害化预处理

(1) 重力脱水：堆置沥水 24 h，表面含水率降至  $\leq 25\%$ 。

(2) 氧化稳定：用2%生石灰（CaO）或5%水泥窑灰喷洒搅拌， $\text{pH} \geq 10$  保持24 h，使残留 $\text{Fe}^{2+}$ 、硫化物快速氧化、重金属钝化。

(3) 磁选分级：带式磁选机将强磁性颗粒（主要为残余磁黄铁矿、菱铁矿）与弱磁性碎屑、生物膜残渣分开，提高后续再利用率。

### 6.4.3 资源化路径

#### 1. 作为混凝土/砂浆骨料

(1) 预处理后的铁基质颗粒压碎值  $\leq 12\%$ ，表观密度  $3.1\text{-}3.4 \text{ g cm}^{-3}$ ，符合《GB/T 14685-2022》III类骨料要求。

(2) 可替代10-20%天然碎石配制C30及以下强度等级混凝土，或用于道路基层（水泥稳定层）。铁氧化物可提高拌合物早期强度并具有一定吸磷缓释功能，抑制藻类滋生。

#### 2. 制备免烧建材

将磁选后的细颗粒（ $<2 \text{ mm}$ ）与粉煤灰、电石渣按质量比 4:3:3 加水压制成免烧砖，28 d抗压强度可达15-20 MPa；残余铁相起到微电解骨架作用，可提高砖体耐久性。

#### 3. 路基/回填材料

粗颗粒直接作为市政管道沟槽回填或路基垫层，利用其高密度、高内摩擦角（ $\phi \approx 45^\circ$ ）提高承载力；表面氧化铁对磷酸盐有固定作用，可减少路基雨水径流的富营养化风险。

#### 4. 再烧结—再生滤料（高值化回用）

将磁选精矿（ $\text{Fe} \geq 55\%$ ）与1-2%粘结剂（膨润土）混匀后造粒，在 $950 \text{ }^\circ\text{C}$ 回转窑弱氧化烧结30 min，得到孔隙率35-40%、比表面积 $2\text{-}3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 的轻质陶粒，可重新回到污水处理厂作为BAF或人工湿地填料，实现闭环利用。

#### 6.4.4环境与安全管控

(1) 预处理及资源化过程产生的冲洗废水、粉尘分别经沉淀+絮凝和布袋除尘后达标排放。

(2) 按《HJ 1091-2020》开展重金属（Cu、Zn、Pb、Cd、Cr、Ni）全量与浸出毒性检测，确保资源化产品符合《GB 30760-2014》中“用于建材的固体废物重金属限值”。

(3) 建议建立批次台账，每500 t资源化产品抽检一次，形成可追溯文件。

（参考GB/T 28747-2012《资源综合利用评价规范》）

郑州市轻工业行业协会

团体标准

**标准名称**

T/ZZLIA 462001—2025

※

郑州市轻工业行业协会标准化技术委员会编印

郑州市中原区桐柏路 62 号（457000）

电话：0371-6535 0226

网址：www.zzlia.cn

邮箱：zzlia1227@163.com

版权专有 侵权必究