

中华人民共和国团体标准

T/ CUWA XXXX—202X

# 上向流反硝化滤池设计标准

**Design standard for upflow denitrification filter**

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国城镇供水排水协会 发布

中华人民共和国团体标准

# 上向流反硝化滤池设计标准

**Design standard for upflow denitrification filter**

**T/CUWA\*\*\*-20\*\***

批准部门：中国城镇供水排水协会

施行日期：20××年×月×日

××出版社

20×× 北 京

## 前 言

根据中国城镇供水排水协会《关于印发〈2020 年中国城镇供水排水协会团体标准制订计划〉的通知》（中水协〔2020〕10 号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分为 11 章，主要内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 滤池池体；5 布水布气系统；6 滤床；7 气水冲洗；8 排水；9 碳源投加；10 控制与仪表；11 模块化标准件。

本标准编制单位承诺在该项标准中不侵犯他人专利。若标准中涉及到必不可少的专利，编制单位承诺确保专利权人或者专利申请人同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或者个人在实施该标准时实施其专利。

本标准的发布机构提请注意，声明符合本标准时，可能涉及到相关可选专利的使用包括：（1）关于 4.1.1、4.1.2，涉及到可选专利：一种上向流反硝化深床滤池系统（专利号：ZL201721619838.4）及一种用于滤池配水配气的结构（专利号：CN201920111882.7）；（2）关于 5.0.2，涉及到可选专利：用于上向流滤池的滤头（专利号：ZL200710124272.2）；（3）关于 7.0.1，涉及到可选专利：上向流滤池的反冲洗方法及反冲洗配水结构（专利号：ZL200710124271.8）；（4）关于 8.0.6，涉及到可选专利：一种上向流反硝化深床滤池及其防滤料流失结构（专利号：ZL201921782393.0）；（5）关于 10.0.2，涉及到可选专利：上向流滤池水量负荷自动均衡方法及结构（专利号：ZL200610157438.6）。

本标准的发布机构对于上述专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本标准的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本标准的发布机构备案。相关信息可通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：深圳市清水水业股份有限公司

地址：广东省深圳市龙岗区龙城街道黄阁路 441 号龙岗天安数码城创业园 1 号厂房 B 座 1202 室

请注意除上述专利外，本标准的某些内容仍可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别专利的责任。

本标准由中国城镇供水排水协会标准化工作委员会归口管理，由中国市政工程中南设计研究总院有限公司负责解释。实施过程中如有意见或建议，请寄送中国市政工程中南设计研究总院有限公司（地址：武汉市解放公园路8号，邮编：430010）。

主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司

深圳市清水水业股份有限公司

参编单位：华中科技大学

中国市政工程西北设计研究院有限公司

安徽华骐环保科技股份有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

深圳市市政设计研究院有限公司

武汉市城市排水发展有限公司

中国水环境集团有限公司

苏伊士水务工程有限责任公司

主要起草人：

主要审查人：

# 目次

<b>1</b>	<b>总则</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>术语</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>基本规定</b>	<b>3</b>
3.1	一般规定	3
3.2	进水要求	3
3.3	工艺流程	4
3.4	主要设计参数	6
<b>4</b>	<b>滤池池体</b>	<b>7</b>
4.1	构造及一般规定	7
4.2	设计计算	8
<b>5</b>	<b>布水布气系统</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>滤床</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>气水冲洗</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>排水</b>	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>碳源投加</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>控制与仪表</b>	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>模块化标准件</b>	<b>18</b>
	本标准用词说明	19
	引用标准名录	20
	附：条文说明	20

# Contents

<b>1</b>	<b>General provisions</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Terminologies</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Basic requirements</b> .....	<b>3</b>
3.1	General provisions .....	3
3.2	Inlet requirements .....	3
3.3	Technological process.....	4
3.4	Main design parameters .....	6
<b>4</b>	<b>Filter body</b> .....	<b>7</b>
4.1	Structure and general provisions .....	7
4.2	Design calculation .....	8
<b>5</b>	<b>Air-water distribution system</b> .....	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Filter bed</b> .....	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Air-water back washing</b> .....	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>Drainage system</b> .....	<b>15</b>
<b>9</b>	<b>Carbon source addition</b> .....	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Automatic control and instrument</b> .....	<b>17</b>
<b>11</b>	<b>Standard modular equipment</b> .....	<b>18</b>
	<b>Explanation of wording in the specification</b> .....	<b>19</b>
	<b>List of quoted standards</b> .....	<b>20</b>
	<b>Addition:Explanation of Provisions</b> .....	<b>20</b>

# 1 总则

**1.0.1** 为规范污水处理工程中上向流反硝化滤池的设计，做到技术先进、安全可靠、经济合理、管理方便，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于新建、扩建或提标的污水处理工程中采用重质滤料的上向流反硝化滤池的设计，不适用于轻质滤料滤池的设计。

**1.0.3** 上向流反硝化滤池的设计除应执行本标准外，尚应符合国家现行有关标准和规范的规定。

## 2 术语

### 2.0.1 上向流反硝化滤池 upflow denitrification filter

过滤方式为待处理水从滤池底部进入、上部流出，利用滤床附着的生物膜中反硝化菌将硝态氮还原成氮气，去除污水中部分硝酸盐，降低出水 TN 浓度，同时具有过滤去除 SS、一定量 TP 功能的滤池。

### 2.0.2 重质滤料 heavy gravity filter media

滤池运行时，重力堆积于滤池内用以反硝化菌附着并进行过滤的粒状或多孔介质，含水比重大于  $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，材质一般为水处理用石英砂、人工陶粒等。

### 2.0.3 布水布气系统 air-water distribution system

在上向流反硝化滤池运行及冲洗过程中，可起到进水布水、反冲洗布水布气作用的系统。

### 2.0.4 上部排水装置 upper drainage device

设置在滤池上部，控制滤池冲洗废水排放的装置，一般有翻板阀、排水渠等形式。

### 2.0.5 反硝化容积负荷 denitrification volumetric loading rate

反硝化滤池单位体积滤料每天去除的硝酸盐氮量。单位时间内每立方米滤料层体积反硝化的硝态氮量，一般以  $\text{kgNO}_3^- \cdot \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  表示。

### 2.0.6 模块化标准件 standard modular equipment

在工厂内预制的，满足一定性能、规模需求的标准化、集成化产品模块，多个模块组合可满足不同规模需求。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 上向流反硝化滤池系统由滤池单元、反冲洗单元、加药单元、电气及控制单元组成。

**3.1.2** 上向流反硝化滤池的分格数，应根据生产规模、操作运行和维护检修等条件通过技术经济比较确定，且不宜少于 3 格。

**3.1.3** 上向流反硝化滤池主体水头损失为 1.5~3.5m。

**3.1.4** 滤池应设置放空、降水位管及配套阀门，并在管廊设置排水设施。

**3.1.5** 滤池应避免跌水复氧，设置多格滤池时，不宜采用配水堰配水，宜采用阀门配水。

**3.1.6** 滤池管廊内宜设置起吊装置，便于安装及检修。

**3.1.7** 应根据工艺运行要求设置必要的检测与控制系统，实现运行管理自动化。

**3.1.8** 滤池可采用钢筋混凝土结构和钢结构模块化标准件两种形式。

### 3.2 进水要求

**3.2.1** 污水在进入上向流反硝化滤池前应进行预处理，拦截和阻隔纤维、毛发和其他大颗粒物质，含油污水需设置除油装置。悬浮物(SS)含量不宜大于 60 mg/L。

**3.2.2** 进水 pH 宜为 6.5~9，进水水温宜为 12~30°C，在北方寒冷地区，上向流反硝化滤池宜设置在室内，并设计保温设施。

**3.2.3** 进水溶解氧不宜超过 2mg/L。

**3.2.4** 用于二级生物处理时，进水总氮(TN)浓度不宜大于 70mg/L；用于深度处理时，进水 TN 浓度不宜大于 25 mg/L。

**3.2.5** 当作为深度处理单元需进一步除磷时，滤池进水总磷浓度不宜大于 1.0mg/L。

### 3.3 工艺流程

3.3.1 用于二级处理的前置上向流反硝化滤池基本工艺如图 3.3.1 所示。

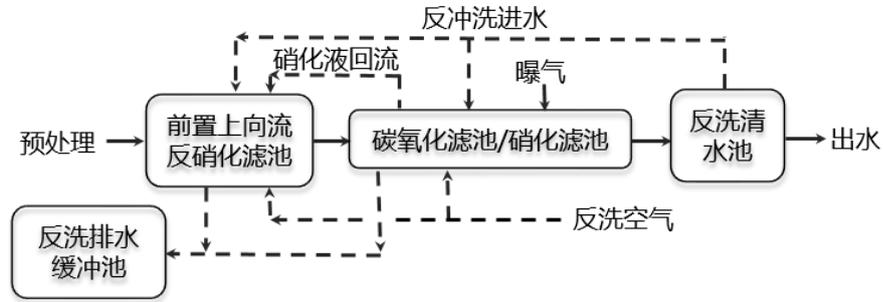


图 3.3.1 用于二级处理的前置上向流反硝化滤池基本工艺

3.3.2 用于二级处理的后置上向流反硝化滤池基本工艺如图 3.3.2 所示。

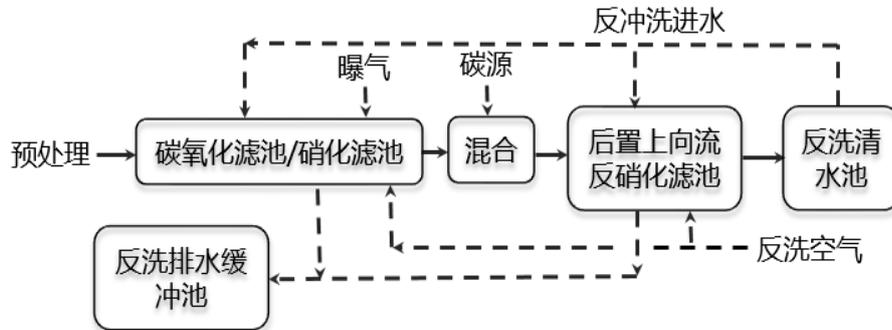


图 3.3.2 用于二级处理的后置上向流反硝化滤池基本工艺

3.3.3 用于深度处理的单级上向流反硝化滤池基本工艺如图 3.3.3 所示。

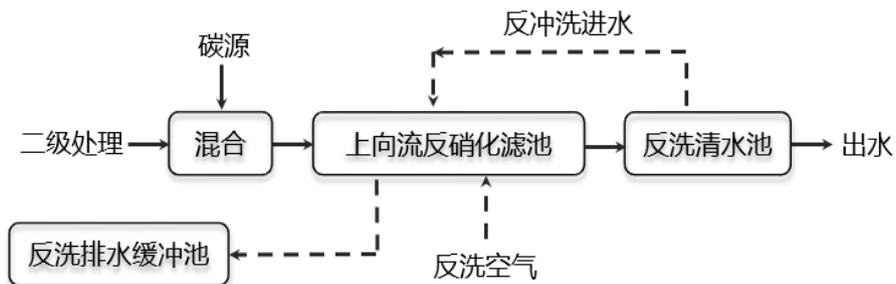


图 3.3.3 用于深度处理的单级上向流反硝化滤池基本工艺

3.3.4 用于深度处理的前置上向流反硝化滤池基本工艺如图 3.3.4 所示。

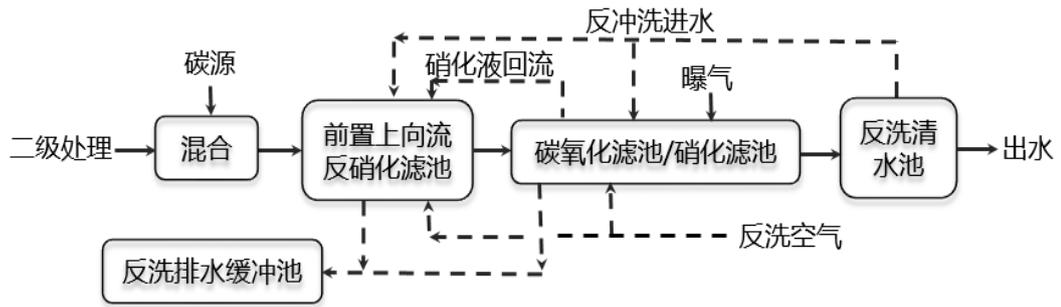


图 3.3.4 用于深度处理的前置上向流反硝化滤池基本工艺

3.3.5 用于深度处理的后置上向流反硝化滤池基本工艺如图 3.3.5 所示。

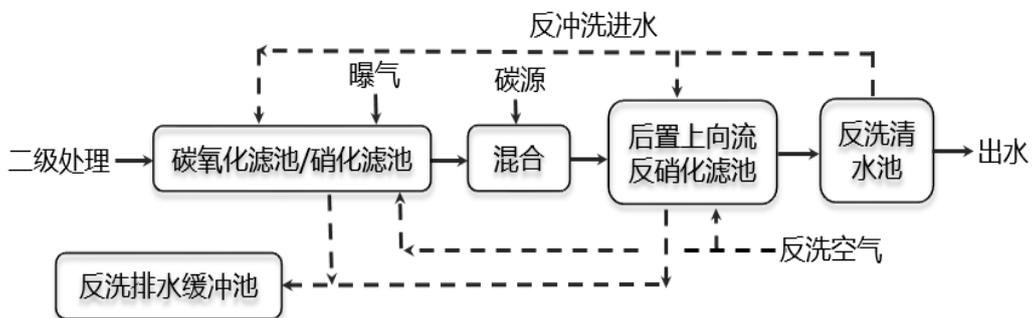


图 3.3.5 用于深度处理的后置上向流反硝化滤池基本工艺

### 3.4 主要设计参数

3.4.1 上向流反硝化滤池主要设计参数宜根据试验资料确定，无试验资料时，宜按表 3.4.1 的规定选取。

表 3.4.1 上向流反硝化滤池主要设计参数

类型	进水 TN (mg/L)	出水 TN (mg/L)	容积负荷 (kgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/m <sup>3</sup> .d)	空床停留 时间(min)	滤速 (m/h)
用于二级处理的前 置上向流反硝化滤 池	≤70	≤25	0.5-2.0	35-45	5~20 (含回流)
用于深度处理的前 置上向流反硝化滤 池	≤45	≤15	0.5-3.0	15-25	6~25 (含回流)
	≤25	≤10	0.5-2.0	15-30	5~25 (含回流)
	≤25	≤5	0.3-1.0	30-45	5~18 (含回流)
后置上向流反硝化 滤池	≤45	≤15	0.5-3.0	15-25	5~16
	≤25	≤10	0.5-2.0	15-30	4~16
	≤25	≤5	0.3-1.5	20-40	3~12

## 4 滤池池体

### 4.1 构造及一般规定

4.1.1 结合滤池的不同功能，滤池池体分为布水布气区、滤床区、出水区。根据上部排水装置的不同，可分为翻板阀及溢流堰排水结构两种形式。

4.1.2 翻板阀池型典型结构如图 4.1.2 所示。

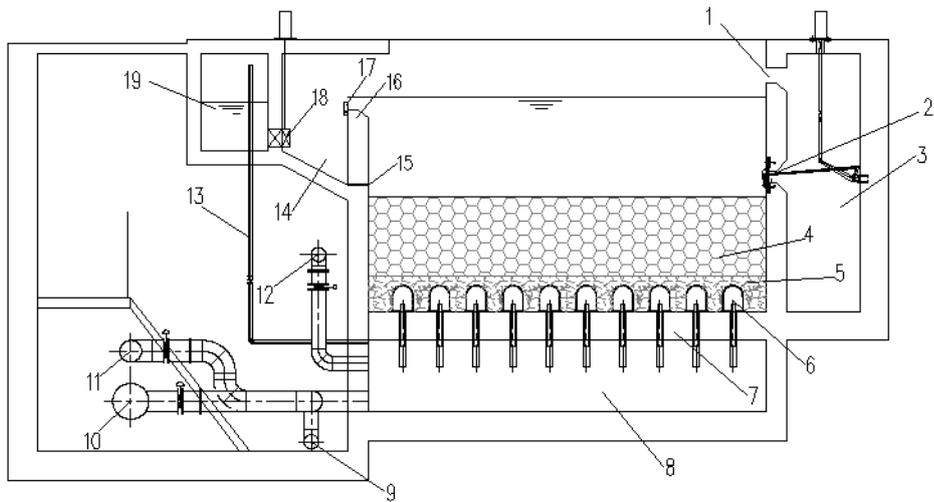


图 4.1.2 上向流反硝化滤池构造（翻板阀典型结构）

- 1-溢流口；2-翻板阀；3-排水渠；4-滤料；5-承托层；6-上向流滤管；  
7-二次浇筑层；8-布水布气区；9-降水位管；10-进水管；11-冲洗进水管；  
12-冲洗进气管；13-排气管；14-出水槽；15-扫洗水孔；  
16-出水堰；17-调节堰板；18-出水闸板；19-出水总渠

4.1.3 溢流堰排水池型典型结构如图 4.1.3 所示。

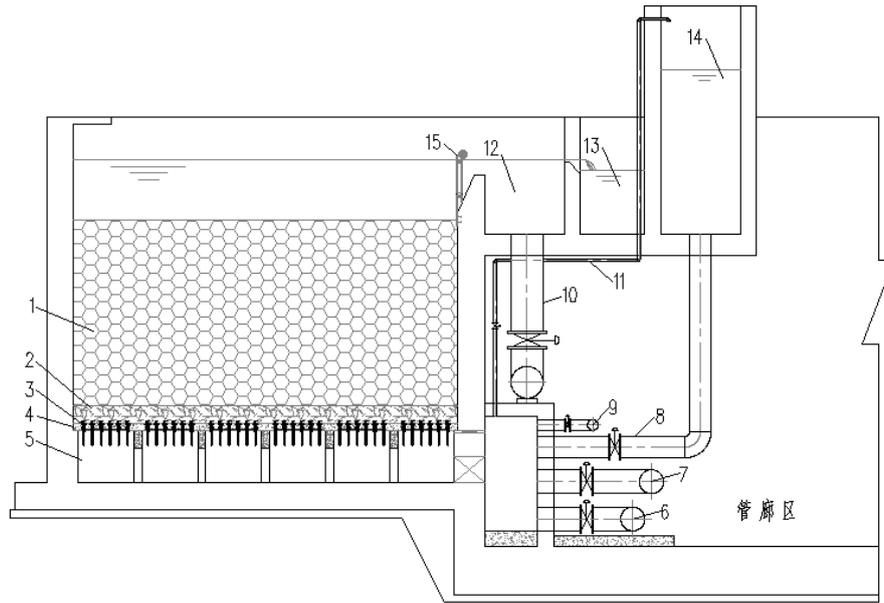


图 4.1.3 上向流反硝化滤池构造（溢流堰排水典型结构）

1-滤料；2-承托层；3-上向流滤头；4-滤板；5-布水布气区；6-降水位管；7-反洗进水管；8-进水管；9-反洗进气管；10-反洗排水管；11-排气管；12-排水渠；13-出水渠；14-配水渠；15-栅形稳流板

**4.1.4** 滤池的单格面积应根据生产规模、操作运行、布水均匀性、冲洗均匀性等要求，通过技术经济比较确定，且单格面积不宜大于 120m<sup>2</sup>。

**4.1.5** 单格滤池池长不宜大于 15 m，池宽不宜大于 8 m。

**4.1.6** 出水清水区高度应为 0.6~1.5 m。滤池的超高宜大于 0.5m。

**4.1.7** 滤池总高度为布水布气区高度、滤板厚度、承托层高度、滤料层高度、清水区高度和滤池超高相加之和。

## 4.2 设计计算

**4.2.1** 上向流反硝化滤池的设计，先采用停留时间作为主要设计参数，计算出滤料的总体积，再根据滤料填装高度，计算出滤池的总过滤面积，最后计算出滤速及反硝化容积负荷作为参数进行校核。

**4.2.2** 滤池总面积按空床水力停留时间计算：

$$A = \frac{w}{H_0} \quad (4.2.2-1)$$

$$w = \frac{Q \times t}{24 \times 60} \quad (4.2.2-2)$$

式中:

$w$ —滤料的总体积( $\text{m}^3$ );

$Q$ —设计流量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$t$ —空床水力停留时间( $\text{min}$ );

$A$ —滤池总面积( $\text{m}^2$ );

$H_0$ —滤料填装高度( $\text{m}$ )。

**4.2.3** 滤池平均滤速可按下式计算:

$$v = \frac{H_0 \times 60}{t} \quad (4.2.3)$$

式中:

$v$ —滤池平均滤速( $\text{m}/\text{h}$ );

$t$ —空床水力停留时间( $\text{min}$ );

$H_0$ —滤料填装高度( $\text{m}$ )。

**4.2.4** 滤池反硝化容积负荷可按下式计算:

$$q = \frac{Q \times \Delta C_N}{w \times 1000} \quad (4.2.4)$$

式中:

$q$ —反硝化容积负荷 ( $\text{kgNO}_3^- \cdot \text{N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ );

$w$ —滤料的总体积( $\text{m}^3$ );

$Q$ —设计流量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$\Delta C_N$ —反硝化滤池进、出水硝酸盐氮浓度差值( $\text{mg}/\text{L}$ )。

## 5 布水布气系统

**5.0.1** 上向流反硝化滤池应采用中阻力布水、大阻力布气的布水布气系统，布水布气系统应能满足进水、气水冲洗等不同工况要求，并应布水、布气均匀。

**5.0.2** 上向流反硝化滤池布水布气系统形式有上向流滤管、上向流滤头。

**5.0.3** 上向流反硝化滤池布水布气区或配水室顶部应设置排气管。

**5.0.4** 进气总管应设置高于滤池液面的管段，超高高度应结合滤床高度、阻力损失综合确定，宜为 1.8~2.2m。

**5.0.5** 布水布气区高度宜为 0.6~1.5m。

## 6 滤床

**6.0.1** 上向流反硝化滤池应根据滤池功能和进出水要求，选择不同的滤料组成。

滤床滤料应符合下列规定：

- 1 宜采用单种级配滤料；
- 2 应采用机械强度和化学稳定性好的卵石作承托层，并按一定级配布置；
- 3 应采用石英砂或人工陶粒等具有足够的机械强度和抗蚀性能的材料；
- 4 应符合现行行业标准《水处理用滤料》CJ/T 43 和《水处理用人工陶粒滤料》CJ/T 299 的规定。

**6.0.2** 滤床滤料的种类应根据处理水质的要求选择，其粒径、填装高度宜按表 6.0.2 选用。

**表 6.0.2 滤料种类、粒径与填装高度**

滤池设置用途	滤料种类	粒径 (mm)	填装高度 (m)
二级处理	人工陶粒	4~6、6~9	2.5~4.0
深度处理	石英砂	2~4	1.5~3.0
	人工陶粒	3~5、4~6	2.0~4.0

**6.0.3** 滤池承托层宜按多层级配设置，当滤池采用上向流滤管时，承托层材料、粒径及厚度宜符合表 6.0.3 的要求。

**表 6.0.3 上向流滤管布水布气系统承托层材料、粒径与填装高度**

层级 (自上而下)	材料	粒径 (mm)	填装高度 (mm)
1 采用石英砂作为滤料			
1	卵石	4~8	100
2	卵石	8~16	100
3	卵石	16~32	100
2 采用人工陶粒作为滤料			
1	卵石	8~16	150
2	卵石	16~32	150

6.0.4 当滤池采用上向流滤头时，承托层宜符合表 6.0.4 的要求。

表 6.0.4 上向流滤头布水布气系统承托层材料、粒径与填装高度

层级（自上而下）	材料	粒径（mm）	填装高度（mm）
1 采用石英砂作为滤料			
1	卵石	4~8	100
2	卵石	8~16	100
2 采用人工陶粒作为滤料			
1	卵石	8~16	150
2	卵石	16~32	150

## 7 气水冲洗

**7.0.1** 上向流反硝化滤池应采用降水位-气水联合冲洗方式进行冲洗。

**7.0.2** 应根据滤池负荷、过滤时间选择反冲洗的冲洗强度及冲洗时间，宜符合表 7.0.2 的要求。

**表 7.0.2 气水冲洗强度及冲洗时间**

结构形式	底部降水 位时间 (min)	先气冲洗		气水联冲			单水冲洗	
		气冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时 间 (min)	气冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	水冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时 间 (min)	水冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时 间 (min)
翻板阀 池型	2~5	14~35	2~5	14~35	2.0~3.0	8~10	6~9	4~6
溢流堰 池型	2~5	12~35	3~6	12~35	2.0~8.0	10~15	5~12	5~10

**7.0.3** 应根据滤池进出水水质及污水厂运行管理等因素决定滤池冲洗周期，一般宜为 12h~48h，并且宜以不同滤床深度的冲洗前水头损失作为开始反冲洗的依据，按表 7.0.3 的水头损失条件进行反冲洗。

**表 7.0.3 不同滤床深度的冲洗前水头损失**

滤床深度 (m)	水头损失 (m)
1.5~2	1.5~2.5
2~2.5	2~3
2.5~4.0	2.5~3.5

**7.0.4** 滤池反冲洗水的供应，宜采用冲洗水泵，并应设置备用机组，冲洗水泵的扬程宜按下式计算：

$$H_p = H_0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 \quad (7.0.4)$$

式中：

$H_p$ —水泵扬程 (m)；

$H_0$ —冲洗水最高水位至吸水池水位的高差 (m)；

$h_1$ —水泵吸水口至滤池的输水管道的总水头损失 (m)；

$h_2$ —配水系统的总水头损失 (m)；

$h_3$ —承托层的水头损失 (m)；

$h_4$ —滤料层的水头损失 (m) ;

$h_5$ —富余扬程, 可取 1~2m。

**7.0.5** 滤池反冲洗气源的供应, 宜采用鼓风机, 并应设置备用机组, 鼓风机出口的静压宜按下式计算:

$$H_A = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad (7.0.5)$$

式中:

$H_A$ —鼓风机出口处的静压 (Pa) ;

$h_1$ —输气管道的压力总损失 (Pa) ;

$h_2$ —配气系统的压力损失 (Pa) ;

$h_3$ —气水室中的冲洗水水压 (Pa) ;

$h_4$ —富余压力, 取 4900 (Pa) 。

**7.0.6** 反冲洗水源为滤后出水, 反冲洗清水池容积应根据同时反冲洗滤池反冲洗所需水量及补水量计算确定。

**7.0.7** 滤池反冲洗废水应设置缓冲池储存再送回污水厂前端预处理工艺进行处理, 缓冲池容积根据污水厂抗冲击负荷能力、单格滤池单次反冲洗水量等因素合理设置, 不宜小于 1.5 倍的单格滤池反冲洗总水量。

**7.0.8** 滤池冲洗结束后, 应先通过上部排水口将初滤水进行排放, 排放时间宜为 3-5min。

## 8 排水

**8.0.1** 钢筋混凝土结构的上向流反硝化滤池上部排水装置宜采用翻板阀排水方式，闭池反冲洗。

**8.0.2** 滤池池壁上翻板阀排水口为长方形结构，应能在 60s 内排除临时储存区的废水。排水口底部距滤料层顶垂直距离宜为 300mm。

**8.0.3** 滤池翻板阀随着水位或者水量的不同宜采用线性调节开闭。

**8.0.4** 滤池池壁上翻板阀排水口宽应为 150mm~200mm，长度可按下式计算：

$$L=HA/(vtB) \quad (8.0.4)$$

式中：L—翻板排水口长度（m）；

H—滤池溢流口下沿至翻板排水口下沿高度（m）；

A—单格滤池过滤面积（m<sup>2</sup>）；

B—翻板排水口宽度（m）；

v—排放口平均流速（宜取 1.5，m/s）；

t—废水排放时间（不宜超过 60，s）。

**8.0.5** 翻板阀池型结构的滤池排水总渠应根据排水管口径大小设置缓冲容积，缓冲容积可按滤池排水口上端至溢流口下端高度水量的 50% 进行设计。

**8.0.6** 排水渠结构的滤池在排水堰口，应设置滤料防流失装置。

## 9 碳源投加

**9.0.1** 具有脱氮功能的上向流反硝化滤池，污水中的  $BOD_5$  与 TN 之比宜大于 4，不满足条件时应考虑外加碳源。

**9.0.2** 反硝化过程碳源不足时应外加碳源，碳源储量宜按 3d~15d 用量考虑。

**9.0.3** 碳源可为甲醇、乙酸、三水乙酸钠或液体乙酸钠、葡萄糖等。

**9.0.4** 碳源投加应根据上向流反硝化滤池需去除硝态氮的量计算，同时根据投加碳源性质、进水 DO、水温等因素来确定，一般实际投加量为理论计算量的 1.2 倍~1.5 倍。几种碳源性质及实际投加量可参考表 9.0.3。

表 9.0.3 几种碳源一览表

碳源	甲醇	乙酸	三水乙酸钠	葡萄糖
结构简式	$CH_3OH$	$CH_3COOH$	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	$C_6H_{12}O_6$
相对分子质量	32.04	60.05	136.03	180.16
建议碳源投加量与污水中需去除的 $NO_x^-$ -N 量质量比	2.5~3.5	3.5~4.5	5~7	8~9

## 10 控制与仪表

**10.0.1** 上向流反硝化滤池应设置生产控制、运行管理与安全运行所需要的自动控制系统和检测仪表。自动控制系统应具备远程监控自动控制 and 现场手动控制两种控制方式，同时现场手动控制优先于远程自动控制。自动控制系统应具备在线监控、数据备份保护功能、故障报警和处理能力。

**10.0.2** 上向流反硝化滤池自动控制系统应能自动调节单格滤池的进水量，均衡各滤池配水。

**10.0.3** 碳源的投加应根据进水流量、进出水溶解氧浓度及进出水硝酸盐氮含量的反馈，通过建立数学模型，动态控制碳源加药量。

**10.0.4** 上向流反硝化滤池的检测仪表配置应符合下列规定：

- 1 每格滤池应设置液位计、压力变送器；
- 2 滤池用于深度处理时，总进水应设置流量计，滤池工艺总进出水端应设置在线硝氮分析仪，宜设置 DO 在线监测仪；
- 3 反冲洗水管、气管宜分别设置反冲洗流量计和反冲洗空气流量计及相应的压力监测装置。

**10.0.5** 自动控制系统宜包括以下子系统：正常过滤子系统、反冲洗子系统、加药子系统以及故障事故状态下的安全控制子系统。

## 11 模块化标准件

**11.0.1** 滤池标准件采用标准化尺寸，工厂预制、模块化装配，标准件设计不宜少于3组，处理不同规模时，根据单套处理量组合配置。

**11.0.2** 滤池标准件主体根据项目情况采用耐候钢或S304不锈钢等材质。耐候钢采用喷砂除锈工艺进行涂装防腐，表面处理除锈等级应达到Sa2.5或以上等级，内外防腐需定期维护，其中内防腐涂层一次使用寿命不低于15年。

**11.0.3** 滤池标准件应采用气水冲洗方式进行冲洗，其冲洗强度及冲洗时间宜按表11.0.3选用。

表 11.0.3 模块化标准件的气水冲洗强度及冲洗时间

结构形式	底部排污时间 (min)	先气冲洗		气水联冲			后水冲洗	
		气冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时间 (min)	气冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	水冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时间 (min)	水冲强度 [L/(m <sup>2</sup> ·s)]	冲洗时间 (min)
模块化标准件	2~5	14~20	2~5	14~20	2.0~3.0	5~8	4~6	5~10

## 本标准用词说明

**1** 为方便执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不一样的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，正常情况下均应该这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。

## 引用标准名录

1. 《室外排水设计规范》 GB 50014
2. 《城镇污水再生利用工程设计规范》 GB 50335
3. 《脱氮生物滤池通用技术规范》 GB/T37528
4. 《水处理用滤料》 CJ/T 43
5. 《水处理用人工陶粒滤料》 CJ/T 299
6. 《生物滤池法污水处理工程技术规范》 HJ2014
7. 《曝气生物滤池工程技术规程》 CECS265

# 上向流反硝化滤池设计标准

## 条文说明

（征求意见稿）

# 目次

<b>1</b>	<b>总则</b>	23
<b>3</b>	<b>基本规定</b>	24
3.1	一般规定	24
3.2	进水要求	24
3.3	工艺流程	25
3.4	主要设计参数	26
<b>4</b>	<b>滤池池体</b>	27
4.1	构造及一般规定	27
4.2	设计计算	27
<b>5</b>	<b>布水布气系统</b>	28
<b>6</b>	<b>滤床</b>	29
<b>7</b>	<b>气水冲洗</b>	30
<b>8</b>	<b>排水</b>	31
<b>9</b>	<b>碳源投加</b>	32
<b>10</b>	<b>控制与仪表</b>	34
<b>11</b>	<b>模块化标准件</b>	36

# 1 总则

**1.0.1** 上向流反硝化滤池具有纳污能力强、碳源投加省、脱氮效果好等特点，已在排水工程中获得了较好的应用，其设计应在不断总结生产实践和科学试验的基础上，合理采用新技术、新设备及新材料，采用合理的设计参数，实现优化运行管理，节约能源和资源，降低工程造价和运行成本。

**1.0.2** 本标准名称不再专门提及重质滤料，目前大部分反硝化滤池均采用重质滤料相对轻质滤料滤池，重质滤料滤池更具备普遍性及代表性。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 上向流反硝化滤池系统包括滤池主体单元、配套的反冲洗动力设备、除磷剂/碳源投配设备及配电自控系统。滤池主体单元包括滤池池体、布水布气系统、滤床及排水结构。

**3.1.2** 滤池的分格数与生产规模、操作运行方式和强制冲洗有关，分格数多，会增加管道阀门等设备数量，但冲洗设备功率小，冲洗泵房工程量小。考虑分格反冲洗时，强制滤速不宜过大，故规定滤池不宜少于 3 格。

**3.1.3** 本条根据实际运行经验提出范围值，上向流反硝化滤池设计时应根据全厂高程进行合理选择，在一定范围内，设计水头损失越大，相同条件下反硝化效果相对越好。滤池水头损失宜保持在合适的范围，水头损失不宜过大，否则滤池不易冲洗干净。

**3.1.4** 滤池底部设置放空管，便于滤池的检修。同时在滤池反冲洗之前，面积较小的滤池可利用滤池放空管降水位排污，面积较大的滤池降水位排污管应另行设计并设置。

**3.1.5** 上向流反硝化滤池的配水需采取措施，减少跌水充氧。

**3.1.6** 滤池管廊内阀门等设备较多，安装检修工作量较大，宜设置起吊设施。

**3.1.7** 上向流反硝化滤池配套阀门等设备较多，操作复杂，需采用自动控制系统，有利于提高滤池的运行效率及污水处理厂的自动化程度。

**3.1.8** 滤池可采用传统的钢筋混凝土结构和钢结构模块化标准件两种形式，模块化标准件形式具有施工周期短，可异地搬迁，资源化利用度高的优点，是国家推广的新兴项目建设模式。

### 3.2 进水要求

**3.2.1** 上向流反硝化滤池前预处理主要有精细格栅（精度不宜大于 2mm）、除油池、沉淀池或气浮池等处理单元或设施。若进入滤池污水中的 SS 浓度太高，易增加滤池的反冲洗频率，因此 SS 不宜大于 60mg/L，除油主要是防止油脂附着于

载体上而影响生物膜的生长，去除纤维及毛发是为了降低滤池内布水布气系统堵塞的风险。

**3.2.2** 进水水温会影响反硝化菌的生物活性，一年中进水水温低于 12°C 的时间较长时，设计负荷宜取低值，以保证出水达标。

**3.2.3** 进水溶解氧浓度太高，会增加碳源的消耗量，且过高的溶解氧会使反硝化受到抑制。

**3.2.4** 上向流反硝化滤池用于二级生物处理时采用前置反硝化工艺，回流比过高时较高的溶解氧浓度会影响反硝化效果，故进水 TN 浓度宜不超过 70 mg/L。

**3.2.5** 反硝化滤池对 TP 有一定的去除能力，根据实际运行经验，上向流反硝化滤池可去除 0.6mg/L 的 TP 量，为保证一级 A 标的 TP 出水标准，进水 TP 不宜大于 1.0mg/L，若对 TP 有更高的去除需求时，宜设置混凝沉淀设施。为了不影响深度处理中反硝化滤池的生物脱氮效果，应尽量强化二级处理中的生物除磷效果，不宜采用化学除磷。

### 3.3 工艺流程

**3.3.1** 应用于二级处理时，宜采用前置上向流反硝化滤池，充分利用污水中可利用的碳源，或者根据进水 TN 浓度，当预处理后  $TN \geq 25\text{mg/L}$  时宜采用 3.3.1 工艺流程。二级处理 TN 去除率设计一般不超过 70%，当 TN 去除率要求超过 70% 时，应在二级处理后增加深度处理上向流反硝化滤池。

**3.3.2** 应用于二级处理，当预处理后  $TN < 25\text{mg/L}$ ，出水 TN 指标执行一级 A 标时，宜采用 3.3.2 工艺流程，同时优化曝气方式和曝气量，来保证系统生物脱氮对碳源的需求，一般无需投加碳源，必要时可少量投加。前置或后置上向流反硝化滤池可通过以下一种或多种措施解决 DO 较高的问题：（1）回流比不宜超过 200%；（2）增加缓冲水池；（3）适当增加滤池填料高度、降低反硝化负荷；（4）优化前级工艺的曝气量。

**3.3.3** 应用于深度处理且只有 TN 去除需求时，宜采用 3.3.3 工艺流程。

**3.3.4** 应用于深度处理去除 TN，同时还需去除部分  $\text{NH}_3\text{-N}$ ，当二级处理出水  $\text{NH}_3\text{-N} \leq 5\text{mg/L}$  时，宜采用 3.3.4 工艺流程。

**3.3.5** 应用于深度处理去除 TN，同时还需去除部分  $\text{NH}_3\text{-N}$ ，当二级处理出水  $\text{NH}_3\text{-N}$

>5mg/L 时，宜采用 3.3.5 工艺流程。上向流反硝化滤池出水可满足  $SS \leq 10\text{mg/L}$ ，滤后可直接接入清水池，经消毒后排放。

### 3.4 主要设计参数

**3.4.1** 上向流反硝化滤池的设计参数以空床停留时间和反硝化容积负荷为主。依据出水要求设置进水允许的水质条件，停留时间结合工程经验确定范围。当进水水温较低（8~12℃）或进水 DO 大于 2mg/L 时，反硝化容积负荷宜取低值，空床水力停留时间宜取高值。

用于深度处理的前置上向流反硝化滤池综合考虑了新建及提标改造的情况，针对二级处理硝化效果较好但反硝化效果较差的工艺，如 SBR 等，深度处理改造无需较高的回流量可达到较好的去除效果。结合 3.3.4 工艺流程，用于深度处理的前置上向流滤池一般适用于需去除 TN 且有少量  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除需求，如二级处理出水  $\text{NH}_3\text{-N} \leq 5\text{mg/L}$  需处理至更高标准时的情况，因此当出水要求  $\text{TN} \leq 15\text{mg/L}$  及  $\text{TN} \leq 10\text{mg/L}$  时一般无需回流或少许回流，出水要求  $\text{TN} \leq 5\text{mg/L}$  时需增大回流。

后置上向流反硝化滤池一般适用于深度处理。结合工艺流程 3.3.2，应用于二级处理的后置上向流反硝化滤池，适用条件为低碳氮比污水，当预处理后  $\text{TN} < 25\text{mg/L}$ ，出水  $\text{TN} \leq 15\text{mg/L}$  时，该情况设计参数按后置上向流反硝化滤池进水  $\text{TN} \leq 45\text{mg/L}$ ，出水  $\text{TN} \leq 15\text{mg/L}$  时取值。

## 4 滤池池体

### 4.1 构造及一般规定

**4.1.1** 上向流反硝化滤池以翻板阀作为反冲洗废水的上部排水装置，采用闭池反冲洗，以避免滤料的流失。以溢流堰形式排水时，应考虑防滤料流失措施。

**4.1.4** 滤池的分格数及单格面积对滤池造价影响很大，从运行经济性和反冲洗均匀性方面考虑，单格滤池面积不宜大于 120m<sup>2</sup>。

**4.1.5** 单格滤池的长度和宽度受生产规模、待滤水及冲洗水分配均匀性等多种因素的影响。考虑滤池过滤及冲洗布水的均匀性和排水的有效性，单格滤池池长不宜大于 15m，池宽不宜大于 8m。

**4.1.6** 出水清水区的高度与滤料性能及反冲洗时滤料膨胀率有关，为防止滤料的流失，采用翻板阀池型结构时，出水清水区高度应不低于 0.6m，对于其他池型结构，宜不低于 1.0 m。

### 4.2 设计计算

**4.2.1** 为保证上向流反硝化的脱氮效果，需保证污水与滤料的充分接触时间，因此滤池的计算以空床水力停留时间作为主要设计参数进行计算，且空床水力停留时间范围相对反硝化容积负荷更小，更有利于设计人员的选取。

**4.2.2** 应用于前置的上向流反硝化滤池时，计算滤速时应考虑硝化液回流量，回流比根据硝酸盐氮去除率确定。

## 5 布水布气系统

**5.0.1** 上向流反硝化滤池布水布气系统同时具有进水布水，冲洗布水布气的功能，其布水、布气是否均匀直接影响滤池的运行效果。小阻力布水系统无法保证过滤布水的均匀性，大阻力布水系统会增加过滤水头，浪费能耗，因此上向流反硝化滤池设计应采用中阻力布水、大阻力布气的布水布气系统。

**5.0.2** 上向流滤管与上向流滤头滤池结构如图 1，两种布水布气形式在实际工程中均有大量应用，可根据实际情况选用。

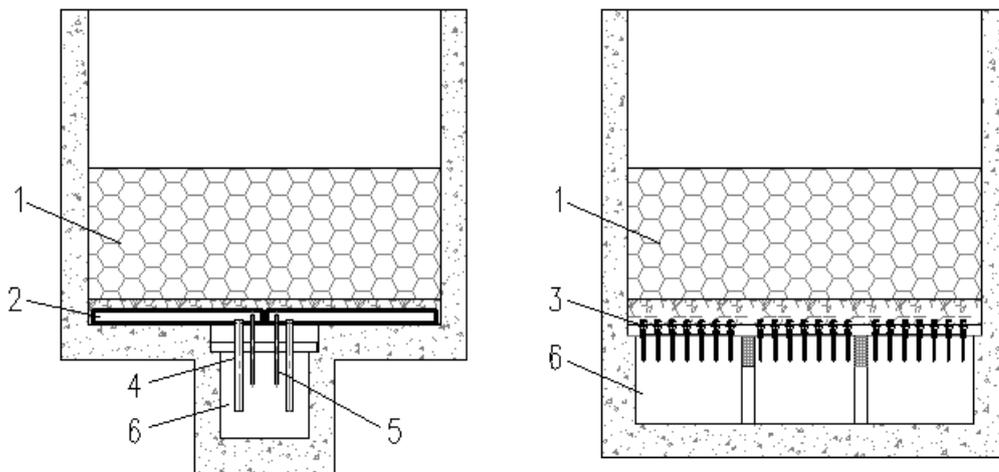


图 1 上向流滤管与上向流滤头滤池结构对比图

1-滤床；2-上向流滤管；3-上向流滤头；4-竖向布水管；5-竖向布气管；6-布水布气区

**5.0.3** 上向流滤池待滤水中携带空气进入滤床对滤池反硝化效果有一定影响，需设置排气管从布水布气渠将空气排出，同时，在每个反冲洗阶段结束后，需排出气冲残留的空气。排气管应设置在布水布气区顶部，排气管末端应设置在滤池超高区域。

**5.0.4** 为防止水倒流进入风机而损坏设备，滤池进气总管管底设置高于滤池液面，并增设自动阀门。

**5.0.5** 滤池布水布气区高度宜按照底部配水配气方式确定。采用上向流滤头滤板时宜取 1.2~1.5m，采用上向流滤管时宜取 0.6~1.2m。

## 6 滤床

**6.0.1~6.0.2** 上向流反硝化滤池用于二级处理以去除硝酸盐氮为主要目标，用于深度处理以去除 TN、SS、TP 为主要目标。主要去除 TN 时宜选择人工陶粒作为滤料，其具有较大的比表面积来培养附着微生物膜，可保证反硝化效果。深度处理去除 TN、SS、TP 时，宜选用石英砂滤料，在相同滤床深度的情况下，采用石英砂滤料出水 SS 优于人工陶粒。

**6.0.3~6.0.4** 承托层的粒径和厚度与滤料的粒径及所用布水布气系统的形式有关，根据多个项目使用经验作出了相应规定。

## 7 气水冲洗

**7.0.1** 上向流反硝化滤池底部截污量大，顶部为滤后清水，相比正向滤池的气水冲洗方式，应增加降水位重力排污过程。

**7.0.2** 根据多个工程使用经验，本条列出了各个不同冲洗阶段的强度及时间。翻板阀池型单水冲洗采用大强度短时间的冲洗方式，滤料冲洗更干净。

**7.0.3** 水头损失除了与滤床深度有关，还与滤料种类、滤速、TN 去除量有关。对于上向流反硝化滤池，水头损失越大，微生物量越大，过滤周期越长，脱氮效果越好。

**7.0.4~7.0.5** 滤池反冲洗风机及反冲洗水泵应考虑机械故障和运行维护的需要设置备用，并根据滤池各冲洗阶段冲洗强度需求的不同，宜设置变频实现气量和水量的精确控制。

**7.0.6** 在单格或多格滤池反冲洗时，其他滤池正常过滤出水，反冲洗水池的容积应同时考虑同时反冲洗滤池反冲洗所需水量及其他滤池的出水量。

**7.0.7** 滤池反冲洗废水池的池容至少应能满足同时反冲洗滤池反冲洗的排水总量，并留有一定余量，为接纳下次冲洗滤池的反冲洗废水，废水池内的废水需及时排除。

**7.0.8** 滤池冲洗结束时，滤床内的废水仍然包含有截留冲洗后的污染物，影响出水水质，因此应将初滤水排出。

## 8 排水

**8.0.1** 钢筋混凝土结构的上向流反硝化滤池一般采用翻板阀或者溢流堰排水结构形式，采用翻板阀形式可实现滤池闭池冲洗，冲洗废水排放更彻底，滤料冲洗更干净，滤料流失率更低。

**8.0.2** 设计足够的滤料层顶排水超高，可有效防止排水时的滤料流失。

**8.0.3** 滤池采用翻板阀排放冲洗废水时为闭池冲洗，待水洗结束后且滤料回落到滤床后再打开翻板阀排放废水。随着水位或者水量的不同设定不同参数采用线性调节开闭，可做到排除冲洗废水时不会带走滤料，为防止水中污染物回落到滤层，需在短时间内将滤层上部废水排除。

**8.0.5** 滤池采用翻板阀排水时，短时间内排放废水流量很大，排水总渠应设计有缓冲容积，避免排水管口径选择过大。

**8.0.6** 在滤池排水堰口处设置栅形稳流板，以便反冲洗时可能被带出的滤料在与稳流板碰撞后可下滑而回到滤池中。

## 9 碳源投加

**9.0.1** 污水中 BOD<sub>5</sub> 与硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和之比是影响脱氮效果的重要因素之一。异养性反硝化菌在呼吸时，以有机基质作为电子供体，硝酸盐氮作为电子受体，即反硝化时需消耗有机物。根据运行实践，当污水中 BOD<sub>5</sub> 与硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和之比大于 4 时，可达理想脱氮效果。BOD<sub>5</sub> 与硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和之比小于 4 时，脱氮效果不好。BOD<sub>5</sub> 与硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和之比过小时，需外加碳源才能达到理想的脱氮效果。

**9.0.2** 碳源储量应根据平均日流量计算，并应满足 3~15 天的储药量，碳源供应稳定、采购较为方便时可适当减少储量。

**9.0.3** 常用的有机外加碳源有甲醇(CH<sub>3</sub>OH)、乙酸(CH<sub>3</sub>COOH)，三水乙酸钠(CH<sub>3</sub>COONa·3H<sub>2</sub>O)，葡萄糖(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)等。甲醇较经济，但易燃易爆，对安全生产要求高；乙酸易受地域和环境限制；三水乙酸钠采购方便，储存简单；葡萄糖容易被大多数微生物利用参与细胞合成，进行反硝化比例较低，消耗量大。因此，外加碳源宜选用三水乙酸钠或液体乙酸钠。对于大型污水厂，宜采用液体碳源。

**9.0.4** 当投加碳源为甲醇时，同时考虑同化异化两个代谢过程的反硝化反应。考虑到污水中 DO 影响，为使反硝化过程完全所需甲醇量为：

$$\text{甲醇投加量} = 2.47 \times \text{去除 NO}_3^- \text{量} + 1.53 \times \text{去除 NO}_2^- \text{量} + 0.87 \times \text{去除 DO 量}$$

当投加碳源为乙酸和三水乙酸钠时：



在生物反硝化过程中，从理论上计算，每还原 1g 硝酸盐氮需  $1/14 \times 5$  (N 的化合价变化)  $\times 2$  (O 的化合价变化)  $\times 16$  (氧的相对分子质量) = 2.86 g COD。

当投加碳源为葡萄糖时：

$$\text{葡萄糖投加量} = 8.31 \times \text{硝酸盐氮去除量} + 0.89 \times \text{去除 DO 量}$$

有机物换算成 COD，并以经验比例将 COD 换算成 BOD<sub>5</sub>，折算数值如下表。

表 1 有机物换算成 COD 和 BOD<sub>5</sub> 表

有机物名称	COD 值 (g/g)	BOD <sub>5</sub> 值(g/g)
甲醇	1.5	1.02~1.12
乙酸	1.07	0.63~0.74

三水乙酸钠	0.47	0.52
葡萄糖	1.067	0.75~0.96

实际污水成分复杂，无论是有机碳源，还是无机碳源，在实际污水处理实践中均观察到一定程度的效果折损，同时考虑进水溶解氧对碳源投加量的影响，即实际投加量宜为理论投加量的 1.2~1.5 倍，且应靠近滤池的进水口，以保证反硝化工艺后出水水质。

## 10 控制与仪表

**10.0.1** 滤池配套阀门、水泵、风机等设备多，运行控制方式较复杂，设置自动控制系统和检测仪表有利于滤池现代化生产管理水平的提高。整个自控系统的设计应将远程监控自动控制和现场手动控制相结合，不会因某格滤池或某个设备出现问题而影响整个系统的运行，确保系统的稳定性和可靠性。数据备份保护可随时调取滤池生产日志，了解滤池生产状况，故障报警保证滤池安全生产运行。

**10.0.2** 各格滤池进水量的自动均衡以及单格滤池冲洗后初始阶段的低负荷运行对滤池整体处理效果影响很大，因此自动控制系统需根据滤池的运行状态自动控制调节进水量。

**10.0.3** 反硝化滤池需要通过投加碳源来进行反硝化脱氮，碳源过量投加会造成出水 COD、BOD<sub>5</sub> 超标。碳源的投加一般采用“模糊控制”法，根据总进水流量、进出水溶解氧浓度及进出水硝酸盐氮含量的反馈，通过建立数学模型，动态控制碳源投加量。并通过污水厂出水的 COD 监测仪数据辅助人工调整碳源加药量，在保证出水 COD、BOD<sub>5</sub> 达标的前提下，精确地控制总氮的去除。

控制原理详见图 2 碳源投加控制示意图。

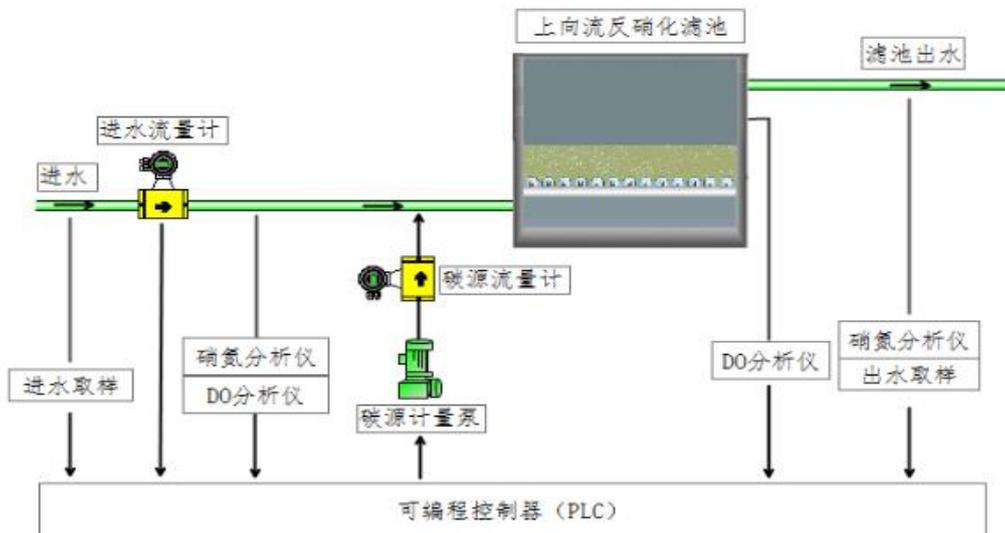


图 2 碳源投加控制示意图

**10.0.4** 上向流反硝化滤池一般采用水头损失、运行压力值、过滤周期等参数联合作为冲洗周期的控制参数，冲洗过程也需要通过检测滤池水位来控制，因此每格滤池应设置水位计、压力变送器。为精确控制碳源投加，滤池总进水管应设置流

量计，滤池工艺总进、出水端应设置在线硝氮分析仪，宜设置 DO 在线监测仪。滤池反冲洗时，需要对反冲洗强度进行监控调整，设置反冲洗水流量计和反冲洗空气流量计及相应的压力传感器，以保证滤池反冲洗效果。

**10.0.5** 上向流反硝化滤池配置的自动控制系统应能满足滤池自动过滤、自动均衡配水、按过滤周期或水头损失自动冲洗、自动恢复过滤、自动控制碳源投加以及故障事故等状态下的安全保护并可靠运行。

## 11 模块化标准件

**11.0.1** 模块化标准件属于标准化产品，宜按固定标准化尺寸进行生产，同时需综合考虑运输要求，标准件安装方便，可直接现场连接管道后使用。主要设计参数的选择与土建结构上向流反硝化滤池相同。

**11.0.2** 滤池标准件的使用介质是市政污水，防腐标准主要参考 GB/T8923《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》和 CECS 343《钢结构防腐蚀涂装技术规程》，箱体材质根据实际情况选用耐候钢或 S304 不锈钢等，耐候钢的耐候性为普通碳钢的 2~8 倍，涂装性为普通碳钢的 1.5~10 倍。

**11.0.3** 钢筋混凝土结构的上向流反硝化滤池采用翻板阀结构进行排水，可实现闭池反冲洗，单水冲洗水冲强度较大，模块化标准件反冲洗排水经出水渠排放，根据实际工程经验，为避免滤料的流失，单水冲时水冲强度宜控制在 4~6L/m<sup>2</sup>.s。