

CECS XXX: 2015

---

中国工程建设协会标准

# 膜生物反应器工程设计规程

Code for design of membrane bioreactor

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

---

中国工程建设协会标准

膜生物反应器工程设计规程

Code for design of membrane bioreactor

(征求意见稿)

CECS XXX: 2015

主编单位：清华大学

北京碧水源科技股份有限公司

批准单位：中国工程建设协会

施行日期：20XX年XX月X日

## 前 言

根据中国工程化建设标准化协会《关于〈膜生物反应器工程设计规程〉立项申请书的复函》（建标协函[2013]09号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准，并在广泛征求意见的基础上，对《一体式膜生物反应器污水处理应用技术规程》（CECS 152:2003）进行全面修订。

本规程修订的主要技术内容包括：1 总则、2 术语和符号、3 构型和工艺选择、4 预处理设施、5 生物处理系统、6 膜分离系统、7 膜污染控制与膜更换、8 后处理设施及其它、9 检测与控制，共 9 章，适用于处理城镇污水的膜生物反应器的工程设计。

本规程由中国工程化建设标准化协会负责管理，由清华大学负责日常管理和具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送清华大学环境学院（地址：北京市海淀区清华园 1 号，邮编：100084）

**本规程主编单位：** 清华大学

北京碧水源科技股份有限公司

**本规程主要起草人：** 黄 霞 俞开昌 肖 康 文湘华 杨宁宁  
郝金光 冯敬宇 贾海涛 车淑娟 薛 涛  
陈春生 雷 霆 夏俊林

# 目 次

1	总 则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术 语.....	2
2.2	符 号.....	6
3	构型和工艺选择.....	10
3.1	构 型.....	10
3.2	工艺选择.....	11
4	预处理设施.....	14
4.1	一般规定.....	14
4.2	格 栅.....	14
4.3	沉砂池.....	14
4.4	初沉池.....	14
5	生物处理系统.....	16
5.1	一般规定.....	16
5.2	工艺参数.....	16
5.3	容积及回流比.....	17
	I 除 碳.....	17
	II 除碳/脱氮.....	18
	III 除碳/脱氮/除磷.....	21
5.4	剩余污泥产量.....	22
5.5	曝气系统与设备.....	23
6	膜分离系统.....	26
6.1	一般规定.....	26
6.2	膜运行方式.....	26
6.3	膜通量.....	26
6.4	膜材料.....	27
6.5	膜组件.....	27
6.6	膜组器.....	28
6.7	膜池布置.....	29
6.8	膜吹扫系统.....	30
6.9	膜产水及产水辅助系统.....	31
	I 膜产水系统.....	31
	II 膜产水辅助系统.....	32

6.10	膜化学清洗系统.....	33
7	膜污染控制与膜更换.....	35
7.1	膜污染控制一般方法.....	35
7.2	混合液调控.....	35
7.3	膜的在线化学清洗.....	35
7.4	膜的离线化学清洗.....	36
7.5	清洗废液的处理与处置.....	37
7.6	膜更换.....	37
8	后处理设施及其它.....	39
8.1	辅助化学除磷.....	39
8.2	消毒.....	39
8.3	剩余污泥处理与处置.....	40
9	检测与控制.....	41
9.1	一般规定.....	41
9.2	检测.....	41
9.3	控制.....	42
9.4	计算机控制管理系统.....	42
	本规程用词说明.....	44
	引用标准名录.....	45

附：条文说明

# Content

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols.....	6
3	Structure and technology selection .....	10
3.1	Structure .....	10
3.2	Technology selection .....	11
4	Pretreatment equipment .....	14
4.1	General requirement.....	14
4.2	Bar screen.....	14
4.3	Grit chamber .....	14
4.4	Primary settling tank .....	14
5	Biological treatment system.....	16
5.1	General requirement.....	16
5.2	Technical parameters .....	16
5.3	Volume and reflux ratio .....	17
I	Decarbonization .....	17
II	Decarbonization / denitrification.....	18
III	Decarbonization / denitrification / dephosphorization .....	21
5.4	Excess activated sludge production.....	22
5.5	Aerating system and equipment .....	23
6	Membrane separation system.....	26
6.1	General requirement.....	26
6.2	Membrane operation pattern .....	26
6.3	Membrane flux.....	26
6.4	Membrane material .....	27
6.5	Membrane module .....	27
6.6	Membrane unit .....	28
6.7	Layout for membrane tank .....	29
6.8	Membrane sweep system .....	30
6.9	Membrane water production and water production auxiliary system .....	31
I	Membrane water production system .....	31
II	Membrane water production auxiliary system .....	32
6.10	Membrane chemical cleaning system .....	33
7	Membrane fouling control and membrane replacement.....	35

7.1	General approach of membrane fouling control.....	35
7.2	Mixture regulation.....	35
7.3	Membrane on-line chemical cleaning .....	35
7.4	Membrane off-line chemical cleaning.....	36
7.5	Treatment and disposal of chemical cleaning effluent .....	37
7.6	Membrane replacement .....	37
8	Post-processing facility and others.....	39
8.1	Chemical-aid phosphorus removal.....	39
8.2	Disinfection .....	39
8.3	Treatment and disposal of excess sludge .....	40
9	Detection and control .....	41
9.1	General regulations .....	41
9.2	Detection .....	41
9.3	Control .....	42
9.4	Computer control and administration system.....	42
	Explanation of wording in this code .....	44
	List of quoted standards .....	45

Addition: Explanation of provisions

# 1 总 则

1.0.1 为规范膜生物反应器的工程设计，做到技术先进、经济合理、安全适用、质量合格，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用微滤或超滤膜生物反应器进行城镇污水处理的新建、扩建和改建工程的设计。与城镇污水水质类似的工业废水处理工程的设计，可参照执行。

1.0.3 膜生物反应器的工程设计，除应符合本规程的规定外，尚应符合现行国家标准《室外排水设计规范》GB 50014 和国家其它有关现行标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 超细格栅 ultrafine screen

栅条间距为 0.2~2 mm 或网孔净尺寸为  $(0.2 \times 0.2) \sim (2 \times 2)$  mm<sup>2</sup>, 用以拦截污水中毛发和纤维状物质的装置。

#### 2.1.2 转鼓格栅 rotating drum screen

一种集格栅除污机、栅渣螺旋提升机以及栅渣螺旋压榨机于一体的设备, 是将污水中漂浮物质、沉降物质以及悬浮物质分离去除的设备。

#### 2.1.3 阶梯式格栅 gradient screen

一种格栅设备, 由驱动装置、传动机构、机架、动栅片、静栅片等部分组成, 通过设置于格栅上部的驱动装置, 带动两组分布于格栅机架两边的偏心轮和连杆机构, 使一组阶梯形栅片相对于另一组固定阶梯形栅片作小圆周运动, 将污水中的漂浮渣物截留在栅面上, 并将渣物从污水中逐步上推至栅片顶端排出, 实现拦污、清渣的功能。

#### 2.1.4 内进流格栅 inside-out flow screen

一种格栅设备, 由驱动装置、机架、网板链轮机构等组成。机架为左右两侧不封闭的长方形箱体, 下部浸入待处理的进水渠中, 其迎水面中心设置有进水口。网板链轮机构包括网板、设置于机架顶端使网板回转驱动的链轮, 链轮下方设置有排渣槽; 网板为绕于链轮上的薄形钢板或塑料板组成的回转过滤网带, 网板上均布有密集的圆孔。污水从进水口进入, 从网板两侧流出。在驱动装置和链轮的驱动下, 网板做回转移动, 将污水中的漂浮渣物截留在网板上, 并将渣物移动至机架顶端排出, 实现拦污、清渣的功能。

#### 2.1.5 膜过滤 membrane filtration

在污水处理中, 通过膜状多孔过滤介质分离污染物的技术。

#### 2.1.6 膜材料 membrane material

制膜的原材料物质。

#### 2.1.7 平板膜 flat-sheet membrane

外形为平板或片状的膜。

#### 2.1.8 中空纤维膜 hollow fiber membrane

外形为纤维状、空心的具有自支撑作用的膜。

#### 2.1.9 管式膜 tubular membrane

外形为管状、空心的具有自支撑作用的膜。

#### 2.1.10 膜组件 membrane module

由膜片（丝或管）、内联接件、端板、密封圈以及壳体等构成的器件，是膜过滤的基本单元。

#### 2.1.11 膜组器 membrane cassette

由若干膜组件、布气装置、集水装置、框架等组装成的可进行独立运行的过滤单元。

#### 2.1.12 膜生物反应器 membrane bioreactor, MBR（缩写）

将生物反应与膜分离相结合，利用膜作为分离介质替代常规重力沉淀池进行固液分离获得出水的污水处理系统。

#### 2.1.13 浸没式膜生物反应器 submerged membrane bioreactor, S-MBR（缩写）

膜组器浸没在生物反应池或膜池中，在产水泵产生的负压或静水压力下利用膜进行固液分离的一种 MBR 型式。

#### 2.1.14 外置式膜生物反应器 recirculated membrane bioreactor, R-MBR（缩写）

膜组器和生物反应池分开布置，生物反应池内的活性污泥混合液由泵送入膜组器，在泵的压力下进行固液分离，浓缩的混合液回流到生物反应池形成循环的一种 MBR 型式。

#### 2.1.15 膜池 membrane tank

在 S-MBR 中用来放置膜组器的构筑物，有进一步降解有机物和进行硝化反应的功能。

#### 2.1.16 间歇运行 intermittent operation

在 MBR 运行过程中，一定时段运行产水泵，一定时段停止产水泵的运行方式。

#### 2.1.17 过滤期 filtration period

采用间歇运行方式的 MBR，在 1 个过滤周期中，每次过滤运行的时间段。

#### 2.1.18 暂停期 pause period

采用间歇运行方式的 MBR，在 1 个过滤周期中，每次暂停运行的时间段。

#### 2.1.19 过滤周期 filtration cycle

采用间歇运行方式的 MBR，从 1 个过滤期开始到相邻的暂停期结束的运行时间段，由 1 个过滤期和 1 个暂停期组成。

#### 2.1.20 跨膜压差 transmembrane pressure, TMP (缩写)

膜进水侧与出水侧之间的压力差值。

#### 2.1.21 膜通量 membrane flux

单位时间单位膜面积通过的瞬时水量。

#### 2.1.22 平均通量 average flux

一个过滤周期的平均膜通量。

#### 2.1.23 运行通量 running flux

在一个过滤周期中，过滤期内的膜通量。

#### 2.1.24 临界通量 critical flux

使污泥颗粒开始在膜表面大量沉积的膜通量。当运行膜通量低于该临界值时，膜过滤阻力不随运行时间明显升高；而当运行膜通量高于该临界值时，膜过滤阻力随运行时间的延长而迅速升高。

#### 2.1.25 峰值通量 peak flux

当产水量为峰值流量时，对应的膜通量。

#### 2.1.26 强制通量 temporarily peak flux

一组或几组膜组器由于膜污染进行清洗或由于事故进行检修时，剩余膜组器的运行通量。

#### 2.1.27 恒通量运行 constant-flux operation

在过滤过程中，维持膜通量相对恒定，跨膜压差可随过滤阻力增加逐渐升高的一种膜过滤运行模式。

#### 2.1.28 膜污染 **membrane fouling**

活性污泥混合液中的污泥絮体、胶体粒子、溶解性有机和无机盐类，由于与膜存在物理、化学或机械作用而引起的在膜表面或膜孔内的吸附与沉积，使膜孔径变小或堵塞、水通过膜的阻力增加、膜过滤性能下降，从而使膜通量下降或跨膜压差升高的现象。

#### 2.1.29 膜吹扫 **membrane air scouring**

通过设置在膜组器底部的曝气系统曝气在膜表面造成水流剪切力，减轻膜表面污泥沉积的膜清洗方法。

#### 2.1.30 反冲洗 **backwash**

利用反洗泵将清水沿过滤的反方向注入膜组件进行水力清洗的膜清洗方法。

#### 2.1.31 在线化学清洗 **on-line chemical cleaning**

不拆卸膜组器，不放空膜池，利用在线清洗泵将药液注入膜组件进行化学清洗的膜清洗方法。

#### 2.1.32 离线化学清洗 **off-line chemical cleaning**

将膜组器从膜池中取出，浸泡在装有化学药剂的清洗池中，或将膜池中的活性污泥抽空，直接将化学药剂注入膜池，对膜组器进行浸泡，去除膜孔内和膜表面污染物质的膜清洗方法。

#### 2.1.33 膜泄漏 **membrane leakage**

由于膜、膜组件和膜组器部件的破损或断裂，导致混合液不经膜过滤而穿透至膜出水侧的现象。

#### 2.1.34 膜完整性检测 **membrane integrity inspection**

用于判断膜泄漏的检测方法。主要有气压衰减法和浊度法。

#### 2.1.35 膜抗拉强度 **tensile breaking strength**

膜材料在纯拉伸力的作用下，不致断裂时所能承受的最大荷载。

#### 2.1.36 膜抗氧化性 **anti-oxidation of membrane**

膜材料抗氧化剂氧化的能力。

#### 2.1.37 膜寿命 **membrane life**

在正常的使用条件下，膜维持预定性能的时间。

### 2.1.38 膜更换 membrane replacement

将失去使用功能的膜更换成新膜的操作。

### 2.1.39 过程控制系统 process control system

用模拟或数字控制方式对生产过程的一个或多个物理参数进行自动控制的系统。

### 2.1.40 PLC 系统 programmable logic controller

一种专门为在工业环境下应用而设计的数字运算操作电子装置。采用可以编制程序的存储器，在其内部存储执行逻辑运算、顺序运算、计时、计数和算术运算等操作指令，并能通过数字式或模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。

### 2.1.41 信号电平 signal level

设备或仪表输出信号的电压值。

### 2.1.42 MBR 工艺 MBR process

由预处理设施、主体生物处理系统、膜分离系统以及检测与控制系统等组成的整套污水处理工艺。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 流量、流速

$G_M$ ——标准状态下的膜吹扫气量；

$G_O$ ——标准状态下好氧区（池）所需的供气量；

$J_m$ ——膜平均通量；

$J_o$ ——膜运行通量；

$O$ ——好氧区/池需氧量；

$O_m$ ——由膜池至好氧区/池的回流混合液所携带的氧量；

$O_n$ ——硝化反应所需氧量；

$O_s$ ——去除有机物所需氧量；

$O_{dn}$ ——反硝化反应所抵消的需氧量；

$O_{std}$ ——温度 20 °C、1 个大气压下的清水需氧量；

$Q$ ——生物反应池设计水量；  
 $Q_{\max}$ ——污水最高日设计水量；  
 $Q_{R1}$ ——由缺氧区/池至厌氧区/池的混合液回流量；  
 $Q_{R2}$ ——由好氧区/池至缺氧区/池的混合液回流量；  
 $Q_{R3}$ ——由膜池至好氧区/池的混合液回流量；  
 $Q_w$ ——剩余污泥排放量；  
 $Q_p$ ——膜产水泵流量；  
 $SAD$ ——单位占地面积的膜组器所需的膜吹扫气量；  
 $\Delta X$ ——剩余污泥产量；  
 $\Delta X_v$ ——排出生物反应池系统的微生物量。

### 2.2.2 浓度

$C_{\text{omd}}$ ——由膜池至好氧区/池的回流混合液所携带的溶解氧浓度；  
 $C_{\text{os}(20)}$ ——温度 20°C、1 个大气压下的清水中饱和溶解氧浓度；  
 $C_{\text{os}(T)}$ ——温度  $T$ 、1 个大气压下的清水中饱和溶解氧浓度；  
 $C_o$ ——好氧区/池的平均溶解氧浓度，不宜低于 1；  
 $N_o$ ——好氧区/池中氨氮浓度；  
 $N_{\text{ke}}$ ——生物反应池出水总凯氏氮浓度；  
 $N_{k0}$ ——生物反应池进水总凯氏氮浓度；  
 $N_{t0}$ ——生物反应池进水总氮浓度；  
 $N_{\text{te}}$ ——生物反应池出水总氮浓度；  
 $P_0$ ——生物反应池进水总磷浓度；  
 $P_x$ ——剩余污泥含磷量，通常可取 0.03~0.05；  
 $S_0$ ——生物反应池进水  $\text{BOD}_5$  浓度；  
 $S_e$ ——膜出水  $\text{BOD}_5$  浓度；  
 $SS_0$ ——生物反应池进水悬浮物浓度；  
 $SS_e$ ——膜出水悬浮物浓度；  
 $X$ ——生物反应池内混合液悬浮固体平均浓度；  
 $X_M$ ——膜池混合液悬浮固体浓度。

### 2.2.3 压力、温度、密度、时间

$P$ ——实际大气压；  
 $T$ ——混合液设计温度；  
 $t_{A1}$ ——厌氧区/池水力停留时间，宜为 1~2；  
 $t_o$ ——产水泵运转时间；  
 $t_p$ ——产水泵停止时间；  
 $\rho$ ——混合液密度；  
 $\theta_{OM1}$ ——好氧区/池和膜池的设计污泥泥龄；  
 $\theta$ ——生物反应池设计总污泥泥龄。

#### 2.2.4 几何特征

$A_S$ ——膜组器的占地面积（在水平面上的投影面积）；  
 $A_M$ ——膜组器的总膜面积；  
 $A_P$ ——单个膜组器的膜面积；  
 $F_M$ ——膜组器总膜面积的安全系数，宜为 1.05~1.1；  
 $h$ ——好氧池水深；  
 $n$ ——膜池廊道数；  
 $N_M$ ——膜组器数量；  
 $V_{A1}$ ——厌氧区/池容积；  
 $V_{A2}$ ——缺氧区/池容积；  
 $V_{M1}$ ——膜池扣除膜组器后的容积；  
 $V_O$ ——好氧区/池容积；  
 $V_t$ ——生物反应池的总容积。

#### 2.2.5 速率常数、其它

$f$ ——SS 的污泥转换率；  
 $F$ ——好氧生物反应的设计污泥泥龄安全系数，为 1.5~3.0；  
 $k_1$  和  $k_2$ ——与  $\alpha$  系数有关的经验系数；  
 $k_d$ ——污泥内源呼吸衰减系数；  
 $K_{dn}$ ——反硝化脱氮速率；  
 $K_n$ ——20°C 时，硝化作用中氨氮去除的半速率常数；  
 $L_s$ ——生物反应池 BOD<sub>5</sub> 污泥负荷；

$R_1$ ——由缺氧区/池至厌氧区/池的混合液回流比，通常取为 1~2；

$R_2$ ——由好氧区/池至缺氧区/池的混合液回流比，通常取为 3~5；

$R_3$ ——由膜池至好氧区/池的混合液回流比，通常取为 4~6；

$y$ ——MLSS 中 MLVSS 所占比例；

$Y$ ——污泥理论产率系数；

$Y_t$ ——污泥总产率系数；

$\alpha$ ——氧传质系数的修正系数，等于污泥中与清水中氧传质系数的比值，

MBR 工艺中的  $\alpha$  值与传统活性污泥法有明显差别；

$\beta$ ——饱和溶解氧浓度的修正系数，等于污泥中与清水中饱和溶解氧浓度的比值，通常可取为 0.9~0.97；

$\eta_A$ ——曝气设备的氧转移效率；

$\eta_P$ ——生物过程对磷的去除率；

$\mu_n$ ——硝化菌比生长速率；

$\mu_{nm}$ ——20°C 时，硝化菌最大比增长速率；

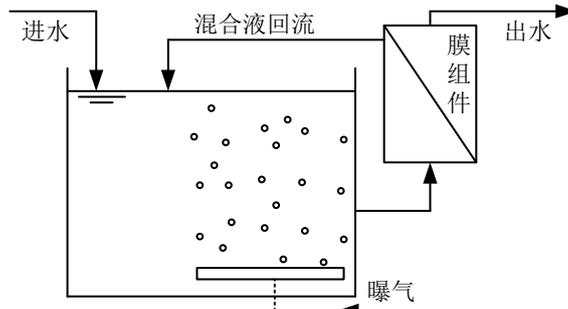
$v_n$ ——比硝化速率；

$v_{nm}$ ——20°C 时，最大比硝化速率。

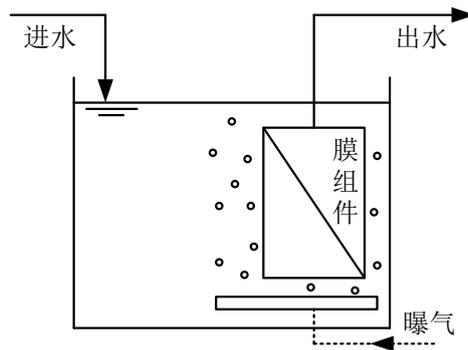
### 3 构型和工艺选择

#### 3.1 构型

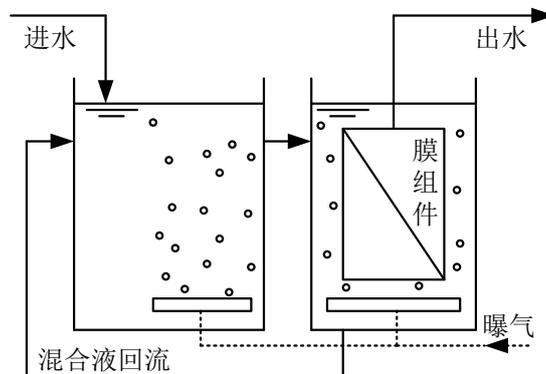
3.1.1 根据膜组器的设置位置，MBR 构型包括外置式、浸没式（一体式和分体式）等（图 3.1.1）。



(a)外置式 MBR



(b)浸没式（一体式）MBR



(c)浸没式（分体式）MBR

图 3.1.1 MBR 构型分类

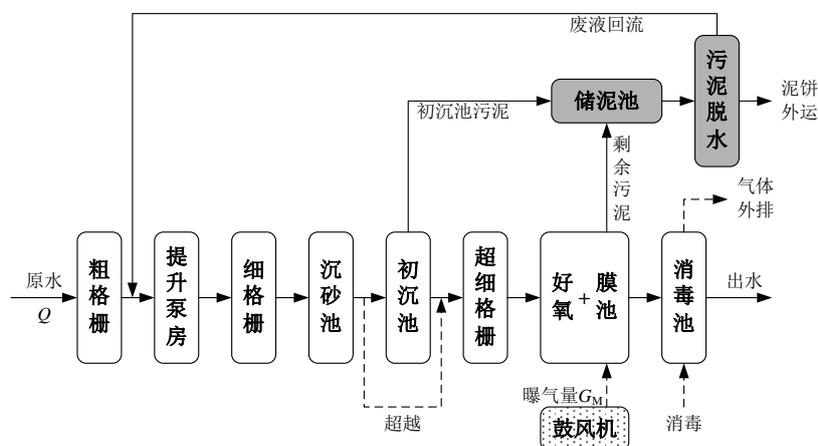
3.1.2 可根据污水的性质、处理规模等选择 MBR 构型，通常采用浸没式 MBR。对于处理规模小于  $500\text{m}^3/\text{d}$  的场合，可采用外置式 MBR。

## 3.2 工艺选择

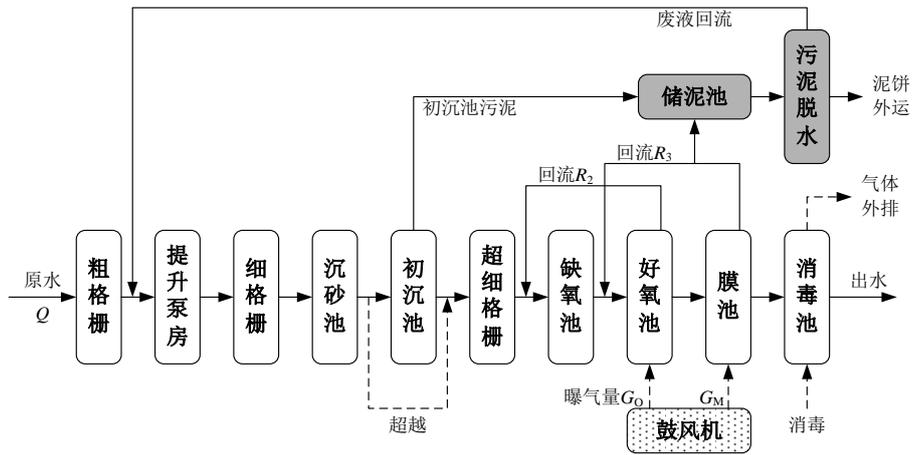
3.2.1 应根据污水水质和处理要求等具体情况，设计或选择 MBR 工艺和系统、设备配置以及配套系统和设施。

3.2.2 当设计的 MBR 工艺仅用于去除有机污染物时，宜采用典型的 O-MBR 工艺（图 3.2.2（a））；当设计的 MBR 工艺兼顾有机污染物的去除和脱氮功能时，宜采用典型的 AO-MBR 工艺（图 3.2.2（b））；当设计的 MBR 工艺兼顾有机污染物的去除和脱氮除磷功能时，宜采用典型的 AAO-MBR 工艺（图 3.2.2（c））。

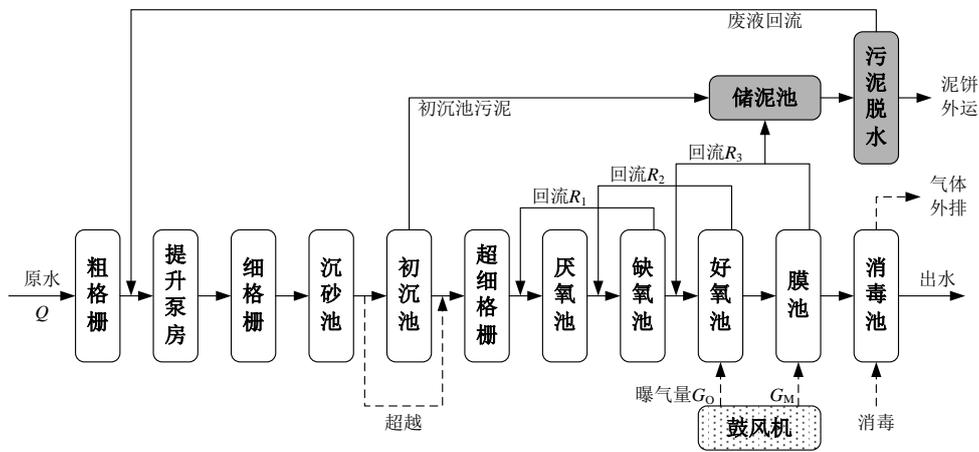
3.2.3 为了提升 MBR 工艺的脱氮除磷效果，生物处理系统可采用各种改进工艺，如强化内源反硝化的 AAOA-MBR 工艺（图 3.2.2（d）），多级 AO-MBR 工艺（图 3.2.2（e）），以及其它工艺等。



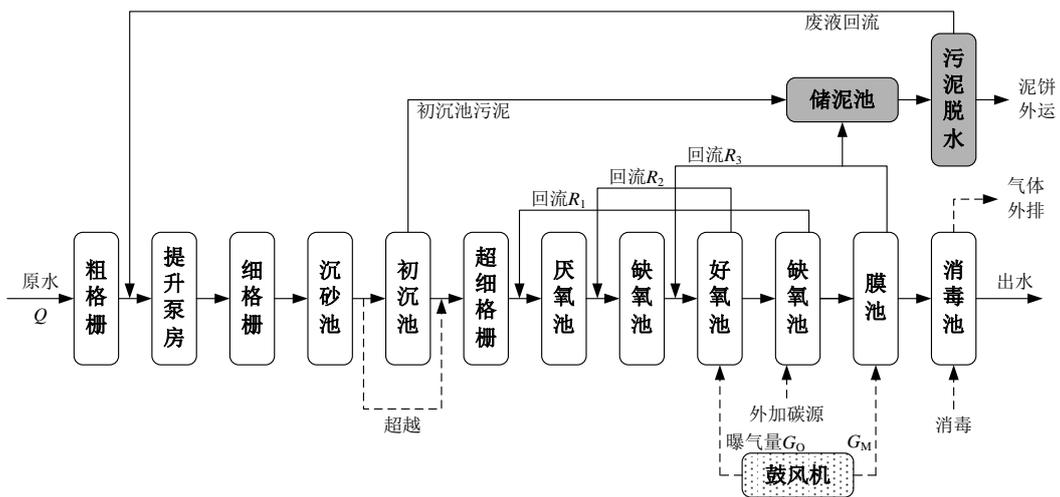
(a) 仅用于有机污染物去除的 O-MBR 典型工艺流程图



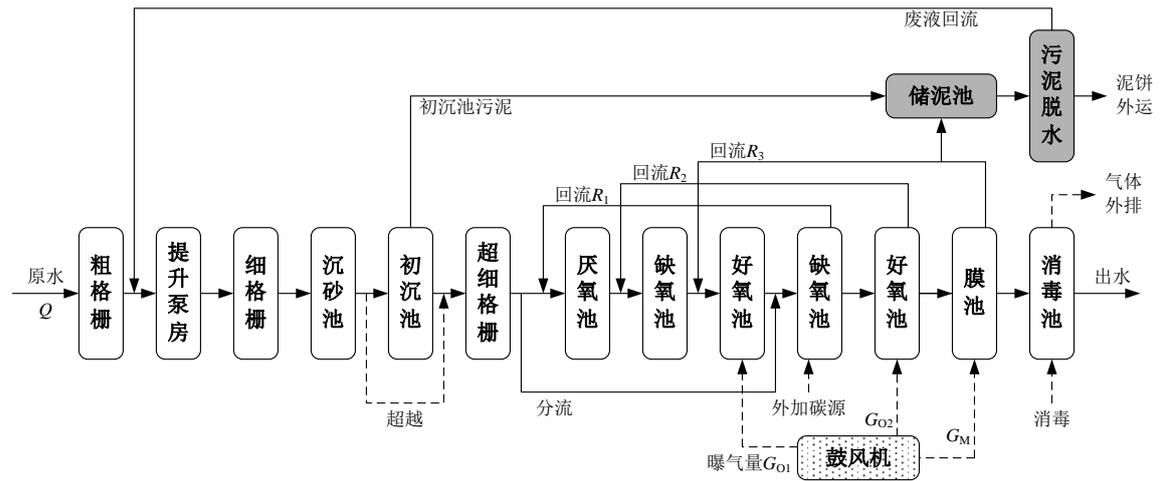
(b) 用于有机污染物去除和脱氮的 AO-MBR 典型工艺流程图



(c) 用于有机污染物去除和脱氮除磷的 AAO-MBR 典型工艺流程图



(d) 强化内源反硝化的 AAOA-MBR 工艺流程图



(e) 多级 AO-MBR 工艺流程图

图 3.2.2 典型 MBR 工艺流程

3.2.4 水质和（或）水量变化大的污水处理厂，宜设置调节水质和（或）水量的设施。

## 4 预处理设施

### 4.1 一般规定

- 4.1.1 MBR 工艺的预处理设施通常包括格栅、沉砂池以及初沉池等。
- 4.1.2 将传统活性污泥工艺升级改造成 MBR 工艺时，应同时改造预处理设施。
- 4.1.3 MBR 工艺生物处理系统进水水质应符合生物处理对水质的一般要求，同时还应满足动植物油不超过 50 mg/L、石油类不超过 3 mg/L 和 pH 值为 6~9 的要求。对达不到以上水质的原水应根据具体情况进行预处理。

### 4.2 格 栅

- 4.2.1 MBR 处理系统前应设置超细格栅。超细格栅的选择与膜组件及膜组器的型式有关。
- 4.2.2 超细格栅通常采用圆孔和网格形栅网，格栅间距通常为 0.2~2.0 mm。超细格栅可采用转鼓格栅、阶梯式格栅或内进流格栅。超细格栅宜设置在沉砂（初沉）池后。

### 4.3 沉砂池

- 4.3.1 MBR 前宜设置沉砂池，其设计和选择应符合 GB 50014 的有关规定。当进水含砂量较高时可适当延长沉砂池的停留时间或设置后续初沉池。MBR 前建议首选曝气沉砂池。

### 4.4 初沉池

- 4.4.1 当进水悬浮物浓度较高时，MBR 前宜设置初沉池，其设计和选择应符合 GB 50014 的有关规定，沉淀时间为 0.5~2.0 h，其相应的表面水力负荷为 1.5~4.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

4.4.2 在碳源紧张或脱氮除磷要求较高时，可不设初沉池或设短时初沉池。  
短时初沉池的推荐沉淀时间为 0.5~1.0 h，表面水力负荷为 2.5~4.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

## 5 生物处理系统

### 5.1 一般规定

5.1.1 MBR 工艺的生物处理部分以活性污泥法为主,根据处理目标的不同,可采用不同工艺流程,详见 3.2.2 和 3.2.3。该部分的工艺设计包括生物处理单元容积、回流比、污泥产量、好氧池曝气系统与设备等。

5.1.2 混合液回流点、活性污泥回流点以及回流比的设计,应综合考虑其对污染物降解、溶解氧浓度以及污泥浓度的影响,在运行中应能根据实际需要进行调整。

5.1.3 当生物除磷效果不能满足排放标准要求时,应增加化学除磷单元及相应设施。

5.1.4 好氧区(池)平均溶解氧浓度宜控制在 1~2 mg/L。当采用浸没一体式 MBR 构型时,对与膜池合一的好氧区(池)内的溶解氧浓度不作要求。

### 5.2 工艺参数

5.2.1 MBR 脱氮除磷工艺的主要设计参数,宜根据试验资料确定;无试验资料时,可采用经验数据或按表 5.2.1 的规定取值。

表 5.2.1 MBR 生物脱氮除磷工艺的常用参数及取值范围

名称	符号	单位	典型值或范围
MLSS (膜池)	$X$	gMLSS/L	6~15**
MLVSS/MLSS	$y$	kgMLVSS/kgMLSS	0.4~0.7
污泥负荷	$L_s$	kgBOD <sub>5</sub> /(kgMLSS d)	0.03~0.1
总 SRT	$\theta_t$	d	15~30
缺氧池至厌氧池混合液回流比	$R_1$	-	1~2
好氧池至缺氧池混合液回流比	$R_2$	-	3~5
膜池至好氧池混合液回流比	$R_3$	-	4~6
污泥总产率系数	$Y_t$	kgMLSS/kgBOD <sub>5</sub>	0.2~0.4 <sup>a</sup> 0.5~0.7 <sup>b</sup>
污泥理论产率系数*	$Y$	kgMLVSS/kgBOD <sub>5</sub>	0.3~0.6
污泥内源呼吸衰减系数*	$k_d$	1/d	0.05~0.2
硝化菌最大比增长速率*	$\mu_{nm}$	1/d	0.66

最大比硝化速率*	$v_{nm}$	$\text{kgNH}_4^+-\text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$	0.02~0.1
硝化作用中氨氮去除的半速率常数*	$K_n$	$\text{mgNH}_4^+-\text{N}/\text{L}$	0.5~1.0
反硝化脱氮速率*	$K_{dn}$	$\text{kgNO}_3^--\text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$	0.03~0.06
单位污泥的含磷量	$P_x$	$\text{kgP}/\text{kgMLVSS}$	0.03~0.07

\*20°C 条件下的取值；a:有初沉池，b:无初沉池

\*\*对于平板膜生物反应器，膜池 MLSS 可增加至 10~20g/L；其它反应池的设计 MLSS 可根据回流比衡算得到

## 5.3 容积及回流比

5.3.1 对于浸没式（一体式或分体式）构型，扣除膜组器所占体积后的膜池容积宜计入好氧生物反应容积。

### I 除 碳

5.3.2 当以去除有机物为主要目标时，采用 O-MBR 工艺，好氧生物反应所需的容积可按污泥负荷计算：

$$V_O + V_{M1} = \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{1000L_s \cdot X} \quad (5.3.2)$$

式中： $V_O$ ——好氧区（池）容积（ $\text{m}^3$ ）；

$V_{M1}$ ——膜池扣除膜组器后的容积（ $\text{m}^3$ ）；

$Q$ ——生物反应池设计进水量（ $\text{m}^3/\text{d}$ ）；

$S_0$ ——生物反应池进水  $\text{BOD}_5$  浓度（ $\text{mg}/\text{L}$ ）；

$S_e$ ——膜出水  $\text{BOD}_5$  浓度（ $\text{mg}/\text{L}$ ）（当去除率大于 90% 时可不计入）；

$L_s$ ——生物反应池  $\text{BOD}_5$  污泥负荷（ $\text{kgBOD}_5/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ ）；

$X$ ——生物反应池（好氧区（池）和膜池）内混合液悬浮固体加权平均浓度（ $\text{gMLSS}/\text{L}$ ）。

5.3.3 当采用浸没分体式构型时，由膜池到好氧区（池）的混合液回流量可按下式计算：

$$Q_{R3} = Q \cdot R_3 \quad (5.3.3)$$

式中： $Q_{R3}$ ——由膜池至好氧区（池）的混合液回流量（ $\text{m}^3/\text{d}$ ）；

$R_3$ ——由膜池至好氧区（池）的混合液回流比，通常取 4~6。

当采用浸没一体式构型时，无此混合液回流。

## II 除碳/脱氮

5.3.4 当以去除有机物和脱氮为主要目标时，采用 AO-MBR 工艺，生物反应池的容积应根据硝化、反硝化动力学进行计算。

5.3.5 好氧生物反应所需的容积可按下列公式计算：

$$V_O + V_{M1} = \frac{Q \cdot (S_0 - S_e) \cdot \theta_{OM1} \cdot Y_t}{1000X} \quad (5.3.5-1)$$

$$\theta_{OM1} = F \cdot \frac{1}{\mu_n} \quad (5.3.5-2)$$

$$\mu_n = \mu_{nm} \cdot \frac{N_O}{K_n \cdot 1.053^{(T-20)} + N_O} \cdot 1.07^{(T-20)} \quad (5.3.5-3)$$

式中： $V_O$ ——好氧区（池）容积（ $m^3$ ）；

$V_{M1}$ ——膜池扣除膜组器后的容积（ $m^3$ ）；

$Q$ ——生物反应池设计进水量（ $m^3/d$ ）；

$S_0$ ——生物反应池（好氧区（池））进水  $BOD_5$  浓度（ $mg/L$ ）；

$S_e$ ——膜出水  $BOD_5$  浓度（ $mg/L$ ）（当去除率大于 90% 时可不计入）；

$\theta_{OM1}$ ——好氧区（池）和膜池的设计污泥泥龄（ $d$ ）；

$Y_t$ ——污泥总产率系数（ $kgMLSS/kgBOD_5$ ），宜根据试验资料确定。无试验资料时，系统有初次沉淀池时取 0.2~0.4，无初次沉淀池时取 0.5~0.7；

$X$ ——生物反应池（好氧区（池）和膜池）内混合液悬浮固体平均浓度（ $gMLSS/L$ ）；

$F$ ——安全系数，取为 1.5~3.0；

$\mu_n$ ——硝化菌比增长速率（ $1/d$ ）；

$\mu_{nm}$ ——20°C 时，硝化菌最大比增长速率（ $1/d$ ），无资料时可取典型

值 0.66;

$N_O$ ——好氧区（池）中氨氮浓度（mg/L）;

$K_n$ ——20°C 时，硝化作用中氨氮去除的半速率常数（mg/L），可取 0.5~1.0;

$T$ ——设计温度（°C）;

1.07—— $\mu_{nm}$  的温度校正系数;

1.053—— $K_n$  的温度校正系数。

5.3.6 好氧生物反应所需的容积也可根据硝化速率计算如下:

$$V_O + V_{M1} = \frac{0.001Q \cdot (N_{k0} - N_{ke}) - 0.124\Delta X_v}{X \cdot v_n} \quad (5.3.6-1)$$

$$v_n = v_{nm} \cdot \frac{N_O}{K_n \cdot 1.053^{(T-20)} + N_O} \cdot 1.07^{(T-20)} \quad (5.3.6-2)$$

式中:  $N_{k0}$ ——生物反应池（好氧区（池））进水总凯氏氮浓度（mg/L）;

$N_{ke}$ ——生物反应池（膜池）出水总凯氏氮浓度（mg/L）;

0.124——细菌细胞的含氮量（kgN/kgMLVSS）;

$\Delta X_v$ ——排出生物反应池系统的微生物量（kgMLVSS/d）;

$X$ ——生物反应池（好氧区（池）和膜池）内混合液悬浮固体平均浓度（gMLSS/L）;

$v_n$ ——比硝化速率（kgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/(kgMLSS d)）;

$v_{nm}$ ——20°C 时，最大比硝化速率（kgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/(kgMLSS d)），可取 0.02~0.1;

$T$ ——设计温度（°C）;

1.07—— $v_{nm}$  的温度校正系数;

1.053—— $K_n$  的温度校正系数。

5.3.7 缺氧区（池）容积可按下列公式计算:

$$V_{A2} = \frac{0.001Q \cdot (N_{t0} - N_{te}) - 0.124\Delta X_v}{K_{dn} \cdot X} \quad (5.3.7-1)$$

$$K_{dn(T)} = K_{dn(20)} \cdot 1.026^{(T-20)} \quad (5.3.7-2)$$

$$\Delta X_v = y \cdot Y_t \cdot \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{1000} \quad (5.3.7-3)$$

式中：  $V_{A2}$ ——缺氧区（池）容积（ $m^3$ ）；

$N_{t0}$ ——生物反应池进水总氮浓度（ $mg/L$ ）；

$N_{te}$ ——生物反应池出水总氮浓度（ $mg/L$ ）；

0.124——细菌细胞的含氮量（ $kgN/kgMLVSS$ ）；

$\Delta X_v$ ——排出生物反应池系统的微生物量（ $kgMLVSS/d$ ）；

$X$ ——生物反应池（缺氧区（池））内混合液悬浮固体平均浓度（ $gMLSS/L$ ）；

$K_{dn}$ ——反硝化脱氮速率（ $kgNO_3^- - N/(kgMLSS \cdot d)$ ），宜根据试验资料确定。无试验资料时， $20^\circ C$  的  $K_{dn}$  值可采用  $0.03 \sim 0.06$ ，并按本规程公式（5.3.7-2）进行温度修正； $K_{dn(T)}$ 、 $K_{dn(20)}$  分别为  $T$ （ $^\circ C$ ）和  $20^\circ C$  时的脱氮速率；1.026 为  $K_{dn}$  的温度校正系数。

5.3.8 由好氧区（池）至缺氧区（池）的混合液回流量及回流比可按下列公式计算：

$$Q_{R2} = \frac{1000V_{A2} \cdot K_{dn} \cdot X}{N_{te} - N_{ke}} \quad (5.3.8-1)$$

$$R_2 = \frac{Q_{R2}}{Q} \quad (5.3.8-2)$$

式中：  $Q_{R2}$ ——由好氧区（池）至缺氧区（池）的混合液回流量（ $m^3/d$ ）；

$X$ ——生物反应池（缺氧区（池））内混合液悬浮固体平均浓度（ $gMLSS/L$ ）；

$N_{te}$ ——生物反应池（好氧区（池））出水总氮浓度（ $mg/L$ ）；

$N_{ke}$ ——生物反应池（好氧区（池））出水总凯氏氮浓度（ $mg/L$ ）；

$R_2$ ——由好氧区（池）至缺氧区（池）的混合液回流比，通常取为  $3 \sim 5$ 。

### III 除碳/脱氮/除磷

5.3.9 当需要同时脱氮除磷时，可采用 AAO-MBR 工艺，在上述 AO-MBR 工艺设计的基础上，增加对厌氧区（池）容积以及相应回流比的设计。

5.3.10 厌氧区（池）的容积，可按下列公式计算：

$$V_{A1} = \frac{Q \cdot t_{A1}}{24} \quad (5.3.10)$$

式中： $V_{A1}$ ——厌氧区（池）容积（ $m^3$ ）；

$Q$ ——生物反应池设计进水量（ $m^3/d$ ）；

$t_{A1}$ ——厌氧区（池）水力停留时间（h），宜为 1~2。

5.3.11 当有多个缺氧区（池）时，混合液宜从最后一个缺氧区（池）回流至厌氧区（池）（参见图 3.2.3（d）、（e））。缺氧区（池）到厌氧区（池）的混合液回流量可按下列公式计算：

$$Q_{R1} = Q \cdot R_1 \quad (5.3.11)$$

式中： $Q_{R1}$ ——由缺氧区（池）至厌氧区（池）的混合液回流量（ $m^3/d$ ）；

$R_1$ ——由缺氧区（池）至厌氧区（池）的混合液回流比，通常取为 1~2。

5.3.12 根据剩余污泥产量计算结果，需核算生物除磷是否满足工艺去除率要求。生物过程对磷的去除率可按下式估算：

$$\eta_p(\%) = \frac{\Delta X_v \cdot P_x}{Q \cdot P_0} \times 10^5 \quad (5.3.12)$$

式中： $\Delta X_v$ ——剩余污泥产量（ $kgMLVSS/d$ ）；

$P_x$ ——剩余污泥含磷量（ $kgP/kgMLVSS$ ），可按 0.03~0.07 估算；

$P_0$ ——生物反应池进水总磷浓度（ $mg/L$ ）。

5.1.13 当生物除磷效果不能满足设计要求时，应采取化学除磷措施，详见本规程第 8.1 节。

## 5.4 剩余污泥产量

5.4.1 剩余污泥产量，可按下列公式计算：

1) 按污泥龄计算：

$$\Delta X = \frac{V_t \cdot X}{\theta_t} \quad (5.4.1-1)$$

2) 按污泥总产率系数计算：

$$\Delta X = Y_t \cdot \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{1000} \quad (5.4.1-2)$$

3) 按污泥产率系数及衰减系数计算：

$$\Delta X = Y \cdot \frac{Q \cdot (S_0 - S_e)}{1000} - k_d \cdot V_t \cdot X \cdot y + f \cdot \frac{Q \cdot (SS_0 - SS_e)}{1000} \quad (5.4.1-3)$$

式中： $\Delta X$ ——剩余污泥产量（kgMLSS/d）；

$V_t$ ——生物反应池的总容积（ $m^3$ ）；

$X$ ——生物反应池内混合液悬浮固体平均浓度（gMLSS/L）；

$\theta_t$ ——生物反应池设计总污泥泥龄（d）；

$Y_t$ ——污泥总产率系数（kgMLSS/kgBOD<sub>5</sub>）；

$Q$ ——生物反应池设计进水量（ $m^3/d$ ）；

$S_0$ ——生物反应池进水 BOD<sub>5</sub> 浓度（mg/L）；

$S_e$ ——膜出水 BOD<sub>5</sub> 浓度（mg/L）；

$Y$ ——污泥产率系数（kgMLSS/kgBOD<sub>5</sub>），20℃时可取 0.3~0.6；

$k_d$ ——污泥内源呼吸衰减系数（1/d），20℃时可取 0.05~0.2；

$y$ ——MLSS 中 MLVSS 所占比例；

$f$ ——SS 的污泥转换率，宜根据试验资料确定。无试验资料时可取

0.5~0.7 gMLSS/gSS；

$SS_0$ ——生物反应池进水悬浮物浓度（mg/L）；

$SS_e$ ——膜出水悬浮物浓度（mg/L）（可忽略不计）；

在生物单元投加铝盐或铁盐时，剩余污泥产量应在上述算式的基础上，

加入混凝及化合产物的量。投加铝盐和铁盐对污泥产量的增加量，可分别按照铝元素质量的 5 倍和铁元素质量的 3.5 倍进行估算。

5.4.2 剩余污泥由膜池排放时，其排放量可按下列公式计算：

$$Q_w = \frac{\Delta X}{X_M} \quad (5.4.2)$$

式中： $Q_w$ ——剩余污泥排放量（ $m^3/d$ ）；

$\Delta X$ ——剩余污泥产量（ $kgMLSS/d$ ）；

$X_M$ ——膜池混合液悬浮固体浓度（ $gMLSS/L$ ）。

## 5.5 曝气系统与设备

5.5.1 生物反应池中好氧区（池）的供氧量，应满足污水需氧量及混合等要求。新建项目宜采用鼓风曝气，改建项目可采用表面曝气等方式。

5.5.2 好氧区（池）所需氧量，由以下几部分组成：

$$O = (O_s + O_n - O_{dn}) \times \frac{V_o}{V_o + V_{M1}} - O_m \quad (5.5.2)$$

式中： $O$ ——好氧区（池）需氧量（ $kgO_2/d$ ）；

$O_s$ ——去除有机物所需氧量（ $kgO_2/d$ ）；

$O_n$ ——硝化反应所需氧量（ $kgO_2/d$ ）；

$O_{dn}$ ——反硝化反应所抵消的需氧量（ $kgO_2/d$ ）；

$O_m$ ——由膜池至好氧区（池）的回流混合液所携带的氧量（ $kgO_2/d$ ）；

$V_o$ ——好氧区（池）容积（ $m^3$ ）；

$V_{M1}$ ——膜池扣除膜组器后的容积（ $m^3$ ）。

5.5.3 需氧量的各个组分，宜按下列公式计算：

$$O_s = \frac{1.47}{1000} Q \cdot (S_0 - S_e) - 1.42 \Delta X_v \quad (5.5.3-1)$$

$$O_n = 4.57 \left[ \frac{1}{1000} Q \cdot (N_{k0} - N_{ke}) - 0.124 \Delta X_v \right] \quad (5.5.3-2)$$

$$O_{dn} = 2.86 \left[ \frac{1}{1000} Q \cdot (N_{t0} - N_{te}) - 0.124 \Delta X_v \right] \quad (5.5.3-3)$$

$$O_m = \frac{1}{1000} Q \cdot R_3 \cdot C_{omd} \quad (5.5.3-4)$$

式中：1.47——氧化去除单位 BOD<sub>5</sub> 当量的有机物所需氧量(kgO<sub>2</sub>/kgBOD<sub>5</sub>)；

$Q$ ——生物反应池设计进水量 (m<sup>3</sup>/d)；

$S_0$ ——生物反应池进水 BOD<sub>5</sub> 浓度 (mg/L)；

$S_e$ ——膜出水 BOD<sub>5</sub> 浓度 (mg/L)；

1.42——细菌细胞的氧当量 (kgO<sub>2</sub>/kgMLVSS)；

$\Delta X_v$ ——排出生物反应池系统的微生物量 (kgMLVSS/d)；

4.57——硝化单位凯氏氮所需氧量 (kgO<sub>2</sub>/kgN)；

$N_{k0}$ ——生物反应池进水总凯氏氮浓度 (mg/L)；

$N_{ke}$ ——生物反应池出水总凯氏氮浓度 (mg/L)；

0.124——细菌细胞的含氮量 (kgN/kgMLVSS)；

2.86——反硝化单位硝态氮所抵消的氧量 (kgO<sub>2</sub>/kgN)；

$N_{i0}$ ——生物反应池进水总氮浓度 (mg/L)；

$N_{ie}$ ——生物反应池出水总氮浓度 (mg/L)；

$R_3$ ——由膜池至好氧区 (池) 的混合液回流比；

$C_{omd}$ ——由膜池至好氧区 (池) 的回流混合液所携带的溶解氧浓度 (mg/L)，缺乏资料时，可按 4~8 mg/L 计。

5.5.4 选用曝气装置和设备时，应根据设备的特性、位于水面下的深度、水温、污水中的氧转移特性、当地的海拔高度以及预期生物反应池中溶解氧浓度等因素，将计算的污水需氧量换算为标准状态 (温度 20°C、1 个大气压) 下的清水需氧量，按下式计算：

$$O_{std} = O \times \frac{C_{os(20)}}{\alpha \cdot [\beta \cdot C_{os(T)} \cdot (1 + \frac{\rho \cdot g \cdot h}{2P}) - C_o]} \times \frac{1}{1.024^{(T-20)}} \quad (5.5.4-1)$$

$$\alpha = k_1 \cdot \exp(-k_2 \cdot X) \quad (5.5.4-2)$$

式中： $O_{std}$ ——温度 20°C、1 个大气压下的清水需氧量(kgO<sub>2</sub>/d)； $C_{os(20)}$ ——温度 20°C、1 个大气压下的清水中饱和溶解氧浓度 (mg/L)；

$C_{os(T)}$ ——温度  $T$ (°C)、1 个大气压下的清水中饱和溶解氧浓度(mg/L)；

$C_o$ ——好氧区（池）的平均溶解氧浓度（mg/L），不宜低于 1；

$\rho$ ——混合液密度（g/cm<sup>3</sup>）；

$g$ ——重力加速度（m/s<sup>2</sup>）；

$h$ ——好氧池水深（m）；

$P$ ——实际大气压（kPa）；

$T$ ——混合液设计水温（°C）；

$\alpha$ ——氧传质系数的修正系数，等于污泥中与清水中氧传质系数的比值，MBR 工艺中的  $\alpha$  值与传统活性污泥法有明显差别；

$\beta$ ——饱和溶解氧浓度的修正系数，等于污泥中与清水中饱和溶解氧浓度的比值，可取为 0.9~0.97；

$k_1$  和  $k_2$ ——与  $\alpha$  系数有关的经验系数，在 6~20g/L 的 MLSS 范围内， $k_1$  和  $k_2$  的参考取值分别为 1.7 和 0.078；

$X$ ——生物反应池（好氧区（池））内混合液悬浮固体平均浓度（gMLSS/L）。

5.5.5 鼓风曝气时，好氧区（池）所需供气量按下式计算：

$$G_o = \frac{O_{std}}{0.28\eta_A} \times \frac{100}{24} \quad (5.5.5)$$

式中： $G_o$ ——标准状态下好氧区（池）所需的供气量（Nm<sup>3</sup>/h）；

0.28——标准状态下每立方米空气中的含氧量（kgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>）；

$\eta_A$ ——曝气设备的氧转移效率（%）。

5.5.6 有关好氧池曝气系统及设备的其它规定，参照 GB 50014。

## 6 膜分离系统

### 6.1 一般规定

6.1.1 膜分离系统包括膜组件与膜组器、膜池、膜吹扫系统、膜产水系统及膜产水辅助系统、膜化学清洗系统等。

6.1.2 膜分离系统的设置应充分满足膜组器使用的工艺要求，保证膜组器的性能稳定实现，并应充分结合工程的实际特点，做到简洁、实用。

6.1.3 MBR 工程规模的划分宜符合以下规定：特大型 MBR 处理水量大于 10 万 m<sup>3</sup>/d；大型 MBR 处理水量为 1 万 m<sup>3</sup>/d~10 万 m<sup>3</sup>/d；中型 MBR 处理水量为 0.5 万 m<sup>3</sup>/d~1 万 m<sup>3</sup>/d；小型 MBR 处理水量小于 0.5 万 m<sup>3</sup>/d。

### 6.2 膜运行方式

6.2.1 在条件许可的情况下，MBR 工程中膜系统宜采用恒通量运行模式。

6.2.2 浸没式构型的膜系统宜采用间歇运行方式，通常 1 个过滤周期内运行期 7~13min、暂停期 1~3min。

6.2.3 外置式构型的膜系统宜采用连续运行方式。

### 6.3 膜通量

6.3.1 膜的平均通量和运行通量可按下列公式换算：

$$J_m = \frac{J_o \cdot t_o}{t_o + t_p} \quad (6.3.1)$$

式中： $J_m$ ——平均通量 (L/(m<sup>2</sup> h))；

$J_o$ ——运行通量 (L/(m<sup>2</sup> h))；

$t_o$ ——产水泵运行时间 (min)；

$t_p$ ——产水泵停止时间 (min)。

6.3.2 运行通量的取值应小于临界通量。临界通量与膜材料类型、膜组件和

膜组器型式、污泥混合液性质、水温等因素有关，可实测或参考膜产品厂家提供数据确定。

6.3.3 当无测试资料时浸没式 MBR 平均通量的参考取值范围为 15~25 L/(m<sup>2</sup> h)，外置式 MBR 平均通量的参考取值范围为 30~45 L/(m<sup>2</sup> h)。

6.3.4 峰值通量和强制通量宜按临界通量的 80%~90% 选取，并应满足污水处理厂的总变化系数需求。以峰值通量或强制通量运行的时间，每天累计不宜超过 4h，单次不宜超过 2h。

## 6.4 膜材料

6.4.1 用于 MBR 工程的膜宜采用微滤膜或超滤膜。微滤膜孔径宜为 0.1~0.4 μm，超滤膜孔径宜为 0.02~0.1 μm。

6.4.2 用于 MBR 工程的膜材料应具有与生物处理工艺运行环境相适应的性能，应选择耐受生物降解性能好、抗污染能力强、机械强度高、热稳定性和化学稳定性高以及能耐受高浓度化学药剂（氧化剂）反复清洗的材质，膜成品宜为亲水性，膜寿命应大于 3 年，并宜大于 5 年。

6.4.3 用于 MBR 工程的中空纤维膜的单丝抗拉断强度不应小于 10N。

6.4.4 MBR 工程用膜材质通常为（但不限于）有机高分子，包括聚偏氟乙烯（PVDF）、聚四氟乙烯（PTFE）、聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）等。

## 6.5 膜组件

6.5.1 选用的膜组件应结构简单，便于安装、清洗以及检修，抗堵塞。

6.5.2 中空纤维膜组件型式宜为帘式或柱式，平板膜组件型式宜为板框式，管式膜组件型式宜为柱式。

6.5.3 浸没式 MBR 宜采用帘式中空纤维膜组件或平板膜组件，分置式 MBR 宜采用管式膜组件。

6.5.4 长期未使用的膜组件必须按产品保存要求，润湿保存或阴凉保存，寒

冷地方需要防冻。在活性污泥系统中使用过的膜组件，较长时间停止使用时，应从活性污泥池中取出，清除掉粘附的污泥之后，进行离线化学清洗后保存。保存过程避免膜被阳光直射。

6.5.5 用于制备膜组件的材料应耐污染、耐腐蚀以及耐化学氧化，焊缝检验应符合 GB/T 985 和 GB/T 12469 的规定。

## 6.6 膜组器

6.6.1 膜组器的总膜面积应按下列公式计算：

$$A_M = \frac{Q}{0.024J_m} \cdot F_M \quad (6.6.1)$$

式中： $A_M$ ——膜组器的总膜面积（ $m^2$ ）；

$Q$ ——总设计处理水量（ $m^3/d$ ）；

$J_m$ ——膜的平均通量（ $L/(m^2 \cdot d)$ ）；

$F_M$ ——安全系数，宜为 1.05~1.1。

6.6.2 应根据峰值进水流量校核膜峰值通量。膜峰值通量不应大于临界通量。

6.6.3 根据膜面积对膜组器进行选型。膜组器数量可按下列公式计算：

$$N_M = \frac{A_M}{A_p} \quad (6.6.2)$$

式中： $N_M$ ——膜组器数量；

$A_M$ ——膜组器的总膜面积（ $m^2$ ）；

$A_p$ ——单个膜组器的膜面积（ $m^2$ ）。

6.6.4 膜组器选型应充分考虑集水均匀，结构紧凑、占用空间小，防污泥淤堵能力强，能耗低。

6.6.5 膜组器出水管的设置应充分考虑集水的均匀性。在出水管上应设置用于实施在线化学清洗的接口和阀门。

6.6.6 膜组器内部的水流循环通道应合理设计。对于浸没式 MBR 膜组器，

膜间流速取决于膜吹扫强度和膜片（丝或管）间距；对于外置式 MBR 膜组器，膜间流速取决于混合液的循环流量和膜片（丝或管）间距。

6.6.7 浸没式 MBR 膜组器应在底部设置曝气系统，通过曝气对膜表面的吹扫，防止活性污泥在膜表面沉积。膜组器与曝气系统可一体设置，也可分体设置。

6.6.8 膜组器使用的钢材应符合 GB/T 700、GB/T 709、GB/T 1220、GB/T 3280、GB/T 4237 的规定，使用的硬聚氯乙烯应符合 GB/T 5836.1、GB/T 5836.2、GB/T 10002.1 的规定，使用的 ABS 应符合 GB/T 20207.1、GB/T 20207.2 的规定，使用的其它材料应符合 JB/T 2932 的规定。

6.6.9 膜组器使用的零部件材料、焊接材料和粘接材料等应符合国家现行标准的规定，焊接质量应符合 GB/T 19866 的规定，金属管道安装与焊接应符合 GB 50235 的规定。

## 6.7 膜池布置

6.7.1 膜池形状宜为矩形。池深应与膜组器尺寸匹配，并留有足够的富余空间以保证膜组器内外水流循环畅通。膜池应能单独隔离、放空、检修。

6.7.2 膜池应设置进水口、回流口以及排泥管。当膜池前设置有生物反应池时，膜池混合液应一部分回流至前面的生物反应池，另一部分作为剩余污泥定期排放。

6.7.3 膜池宜分廊道设计，根据膜组器的数量设计膜池廊道数量，廊道数量宜大于 2。

6.7.4 在膜池内初次布设膜组器时，应留 10%~20% 的富余空间，作为备用膜组器空位。

6.7.5 每个廊道应能独立运行，宜设置独立的产水系统、进水系统和曝气系统。

6.7.6 同一廊道的膜组器应保障产水均匀，膜组器间的产水量差值应小于

5%。

6.7.7 膜池廊道内膜组器的平面布局应满足下列要求：

- 1 膜组器应尽可能位于膜池廊道的中央，做到平均分布、间距相等；
- 2 膜组器之间以及膜组器与廊道池壁之间的距离应大于 500 mm；
- 3 膜池应设置膜组器的定位装置，确保膜组器安装时的水平位置偏差不超过±5 mm。

6.7.8 膜池廊道内膜组器的竖向布置应满足下列要求：

- 1 膜组器顶部与最低水面的距离，应大于膜组件短边长度的 50%，且不应小于 500 mm；
- 2 曝气管与膜组件底部的距离不应小于 200 mm；
- 3 曝气管与膜池池底的距离，应大于膜组件短边长度的 50%，且不应小于 150 mm；
- 4 平板膜组器，可采用双层布置。

6.7.9 在北方寒冷地区，宜将膜池设置于室内，并设置室内供暖通风设备。

6.7.10 膜池应设起吊装置。膜池上部空间应满足设备起吊要求，膜组器的起吊重量应为湿重。

## 6.8 膜吹扫系统

6.8.1 膜吹扫系统由膜组器曝气设备、鼓风机、空气管路及其附件等组成。

6.8.2 膜吹扫气量的确定，可参考膜组器生产厂家的推荐值或工程实例。浸没式 MBR 的膜吹扫气量可按下式计算：

$$G_M = A_s \cdot SAD \quad (6.8.2)$$

式中： $G_M$ ——膜吹扫气量（Nm<sup>3</sup>/h）；

$A_s$ ——膜组器的占地面积（在水平面上的投影面积）（m<sup>2</sup>）；

$SAD$ ——单位占地面积的膜组器所需的膜吹扫气量（Nm<sup>3</sup>/（m<sup>2</sup>·h））。

推荐的设计参数范围列于表 6.8.2 中。

表 6.8.2 MBR 工程膜吹扫气量的推荐值

膜组器类型	设计通量 (L/(m <sup>2</sup> ·h))	SAD (Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h))
中空纤维膜	15~25	60~120
平板膜	15~25	50~120

6.8.3 膜池曝气可采用持续运行的方式，也可并推荐采用间歇脉冲运行的方式。曝气设备宜布置于膜组器正下方。选用曝气设备时，应充分考虑曝气均匀性、防污泥堵塞、节能等需求，并应考虑冬季溅水、结冰、风沙等气候因素以及噪声、臭气等环境因素。曝气设备的选择应符合 GB 50014 的相关规定。

6.8.4 膜池曝气设备宜选择大气泡曝气，以保证膜的冲刷效果。

6.8.5 膜吹扫鼓风机宜保持恒风量运行，备用风机数量不应少于 1 台。

6.8.6 膜吹扫空气管路包括供气干管和膜池廊道设置的独立的供气支管。供气支管连接应容易安装；供气支管应设置自动控制阀门，防止停止曝气时，膜池内水回流到管路中。

6.8.7 供气干管应至少高于膜池最高液面 500 mm，管内流速宜为 10~15 m/s。

6.8.8 应设置膜吹扫风量、风压、风机运行状态等监控系统，保障膜吹扫系统与膜产水系统的联动控制，禁止在膜吹扫系统故障或风量过低的情况下连续产水。

## 6.9 膜产水及产水辅助系统

### I 膜产水系统

6.9.1 膜产水系统的设计应包括膜产水泵和集水管路系统的设计。宜采用恒通量运行模式，即保持出水流量相对稳定的产水模式。

6.9.2 对于大、中型浸没式 MBR 工程，通常宜采用膜产水泵抽吸出水的方式运行，小型浸没式 MBR 工程可采用重力自流式出水；外置式 MBR 工程

通常采用膜产水泵加压出水的方式运行。

6.9.3 集水管路的设计应充分考虑廊道内各膜组器集水均匀性，集水管流速宜为 0.7~1.0 m/s。

6.9.4 膜产水泵宜选取流量-扬程性能曲线较为平缓的产品，泵流量按以下公式计算，并按膜峰值流量校核：

$$Q_p = \frac{Q_{\max} \cdot (t_o + t_p)}{24n \cdot t_o} \quad (6.9.4)$$

式中： $Q_p$ ——膜产水泵流量（ $m^3/h$ ）；

$Q_{\max}$ ——污水最高日设计水量（ $m^3/d$ ）；

$n$ ——膜池廊道数；

$t_o$ ——一个过滤周期内膜产水泵的运转时间（min）；

$t_p$ ——一个过滤周期内膜产水泵的停止时间（min）。

6.9.5 采用浸没式 MBR 的小型工程，膜产水泵可选用自吸离心泵，吸程不宜小于 6 m；对于中、大型工程，膜产水泵可选用配有真空泵辅助排气的普通离心泵，泵的汽蚀余量（NPSH）不宜大于 2.5 m。

6.9.6 采用恒通量模式间歇运行的浸没式 MBR 工程，膜产水泵宜采用变频控制，每小时启动次数应满足每小时过滤周期数的要求。

6.9.7 每个膜池廊道应设置 1 台独立的膜产水泵。膜产水系统宜设置 1~2 台备用泵，可采用冷备的形式备用。

## II 膜产水辅助系统

6.9.8 膜产水辅助系统包括真空泵或真空装置辅助排气，用于协助膜产水泵的首次启动和排除集水管路中的空气。

6.9.9 真空泵的选择应根据所需的气量、真空度确定，并应配置备用泵。

6.9.10 当真空泵所需的真空度不高时，可优先在单级泵中选取。当真空泵所需真空度较高，且气量较大时，即要求性能曲线在较高真空度时较平坦，

可选用两级泵。

6.9.11 当采用较多的气动阀门时，应设置压缩空气系统。压缩空气系统应设置相应的净化装置。

## 6.10 膜化学清洗系统

6.10.1 膜化学清洗系统的设计应包括在线化学清洗系统和离线化学清洗系统。

6.10.2 膜在线化学清洗系统包括化学清洗泵、化学药剂投加与计量系统、储药罐和管道混合装置等，其设计应符合下列规定：

- 1 药剂应包括酸、碱两类，且药剂浓度应可调节；
- 2 应根据每次清洗的膜面积确定药剂用量；
- 3 储药罐应能储存不小于 1 周清洗所需的药剂用量；
- 4 管路、阀门、仪表的材质，应能够耐受酸、碱药剂腐蚀；
- 5 采用固体粉末药剂应配备溶解装置。

6.10.3 膜离线化学清洗系统包括清洗池、吊装装置和配药管阀等，其设计应符合下列规定：

- 1 清洗池应包括碱清洗池、酸清洗池以及清水池；
- 2 清洗池内壁应做好防腐措施，避免化学药剂的浸泡腐蚀；
- 3 加药、储药单元应与设备间、膜池隔离设置，并应采取通风措施，避免由于药剂泄露和挥发导致的腐蚀风险；
- 4 在碱洗或酸洗后，碱液或酸液被消耗的部分，应及时补充；
- 5 膜化学清洗的工艺用水，宜采用膜系统出水；
- 6 当在原膜池中直接对膜组器进行离线清洗时，不需设置专门的清洗池和吊装装置。

6.10.4 膜清洗药剂包括碱洗药剂和酸洗药剂，碱洗药剂包括次氯酸钠、氢氧化钠等（用于清洗膜有机污染物）；酸洗药剂包括柠檬酸、草酸、盐酸等

(用于清洗膜无机污染物)。

6.10.5 膜碱洗和酸洗管路系统要严格分开，不能混用。

## 7 膜污染控制与膜更换

### 7.1 膜污染控制一般方法

7.1.1 膜污染控制的一般方法包括优化膜系统操作条件、膜清洗、混合液调控等。

7.1.2 在 MBR 工程运行中，通常采用膜清洗和混合液调控来控制膜污染。

7.1.3 膜清洗分为物理清洗和化学清洗。根据实施方式，物理清洗分为膜吹扫和水反冲洗等，化学清洗分为在线化学清洗和离线化学清洗。

### 7.2 混合液调控

7.2.1 当膜池中的污泥浓度过高或溶解性微生物代谢产物浓度累积过高，导致膜过滤性恶化时，可采用混合液调控方法提高 MBR 工程中活性污泥混合液的膜过滤性，降低膜污染。

7.2.2 当膜池中的污泥浓度过高时，可通过增大膜池混合液回流比或增大排泥量降低膜池污泥浓度。膜池浓度污泥宜小于 15 g/L（采用平板膜的膜池污泥浓度宜小于 20 g/L）。

7.2.3 在冬季或其它情况下由于膜池中溶解性微生物代谢产物浓度累积过高等原因导致混合液膜过滤恶化时，可投加调控剂进行调控。

7.2.4 混合液调控剂包括混凝剂（如氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铁、聚合硫酸铝、有机高分子混凝剂等）、吸附剂（如粉末活性炭等）等。

7.2.5 投加混凝剂调控混合液可以和化学除磷联合进行，直接投加在膜池或好氧池，达到在调控混合液膜过滤性的同时去除磷的双重效果。

### 7.3 膜的在线化学清洗

7.3.1 膜的在线化学清洗采用将化学清洗药剂从与膜组器集水管连接的化学清洗口注入膜组件内的方式进行，可分为维护性化学清洗和强化化学清

洗。

7.3.2 常用的在线化学清洗药剂包括碱洗药剂和酸洗药剂，参见 6.10.4。

7.3.3 在线化学清洗的药剂种类以及浓度、注药量、注药方式、浸泡时间、空曝气时间等参数应根据污染类型与程度进行灵活调整。

7.3.4 中空纤维膜组器的在线清洗可按照膜产品生产厂家的要求进行。维护性化学清洗的实施周期宜为 3~7 d，每次采用中等浓度化学药剂（如 0.2~0.5 g/L 有效氯的次氯酸钠）清洗 30~120 min；当跨膜压差相对上一个周期提高 20~30 kPa 时应进行强化化学清洗，此时应采用高浓度化学药剂（如 2~3 g/L 有效氯的次氯酸钠）清洗 30~120 min。强化化学清洗的周期不宜大于 30 d。单位膜面积的在线化学清洗药剂消耗量可按 2~4 L/m<sup>2</sup> 设计。

7.3.5 平板膜组器的在线化学清洗可按照膜产品生产厂家的要求进行。可不实施维护性化学清洗。当跨膜压差上升到 20~30 kPa 时，应采用高浓度化学药剂（如 5~10 g/L 有效氯的次氯酸钠）进行强化化学清洗，清洗药剂在 8~15 min 内注入膜组器并静置 1~2 h。强化化学清洗的周期宜为 3~6 个月。单位膜面积的在线化学清洗药剂消耗量可按 2~4 L/m<sup>2</sup> 设计。

7.3.6 当污水中的无机成分较多时，在维护性化学清洗和强化化学清洗过程中，应同时结合使用酸洗药剂（如 5~10 g/L 的柠檬酸或草酸）进行酸碱交替清洗。单位膜面积的酸洗药剂用量可按 2~4 L/m<sup>2</sup> 设计。

7.3.7 在线碱洗、酸洗不可连续交替进行。在线化学清洗时应停止膜池的曝气。

7.3.8 冬季宜提高膜清洗的频率、药剂强度、清洗时间，必要时还应提高清洗液的温度。

## 7.4 膜的离线化学清洗

7.4.1 膜的离线化学清洗宜每年定期实施一次。当跨膜压差上升到 50 kPa 时，或当实施在线化学清洗后跨膜压差仍大于 30 kPa 时，应立即实施离线

化学清洗。

7.4.2 膜的离线化学清洗可以在专门设置的化学清洗池中实施，也可以在原膜池内进行。

7.4.3 在膜组器进行化学药剂浸泡之前，需要人工用清水将膜组器内部和膜组件表面淤积的污泥、毛发纤维物质等清除干净。在原膜池内实施膜离线清洗时，该膜池应能够完全隔离，并需要将膜池的活性污泥输送到其它膜池廊道的曝气池中。

7.4.4 离线化学清洗通常可采用高浓度的次氯酸钠溶液(3~5 g/L 有效氯)，或结合使用 5~10 g/L 的柠檬酸或草酸进行酸碱交替清洗。

7.4.5 在离线化学清洗过程中，碱药剂清洗后，宜用清水淋洗或浸泡后，再改变清洗药剂类型，避免酸碱药液在膜组器、膜丝内部接触。

7.4.6 酸洗、碱洗药剂浸泡时间宜为 12~24 h，药剂浓度、温度等可根据膜污染的类型和程度进行灵活调整。

7.4.7 清洗池内的药剂应及时补充，维持浓度恒定。

## 7.5 清洗废液的处理与处置

7.5.1 膜离线化学清洗的废液宜单独收集并采用中和等措施处理，处理后的废液可外排或重新回流至厂区生物处理系统之前。外排水质应符合 GB 8978 的规定；回流量、水质不应影响生物反应池的处理效果。

7.5.2 在线化学清洗的废液可直接在膜池中进行中和处理后回流至生物反应池。

## 7.6 膜更换

7.6.1 当膜的运行时间达到规定的使用寿命或在使用过程中遭受损坏，化学清洗不能再恢复其功能时，应对膜进行更换。

7.6.2 膜更换应由专业人员或生产厂家进行。

7.6.3 膜更换应保持同一膜池内的膜组器状态一致，避免新、旧膜组器在同一膜池内同时产水，以保证膜组器间的产水均匀性。

7.6.4 新膜投入运行前，应按要求进行调试和验收。

## 8 后处理设施及其它

### 8.1 辅助化学除磷

- 8.1.1 化学除磷方案的设计和选择应符合 GB 50014 的有关规定。
- 8.1.2 化学除磷药剂可采用铝盐、铁盐等。
- 8.1.3 化学除磷药剂可在膜池或生物反应池投加。
- 8.1.4 采用铝盐或铁盐作化学除磷药剂时，在无试验资料时，投加的混凝剂量与化学除磷法去除的总磷量的摩尔比可取为 1.5~2.5。

### 8.2 消毒

- 8.2.1 MBR 工程应设置消毒设施，对膜出水进行消毒。消毒设施和有关构筑物的设计及安全措施，应符合现行国家标准 GB 50013 和 GB 50014 的有关规定。
- 8.2.2 膜出水的消毒方式宜采用紫外线消毒、臭氧消毒或氯消毒等。消毒的方式、程度和设备配置应根据排放标准或回用要求确定。
- 8.2.3 MBR 工程中的紫外线消毒剂量宜根据试验资料或类似工程运行经验确定。当缺乏试验资料时，可按下列标准确定：
- 1 出水排放时，紫外线剂量 9~13 mJ/cm<sup>2</sup>。
  - 2 用作再生水时，紫外线剂量 14~18 mJ/cm<sup>2</sup>。
- 8.2.4 MBR 工程中的臭氧剂量宜根据试验资料或类似工程运行经验确定。当缺乏试验资料时，可采用臭氧剂量 3~5 mg/L。
- 8.2.5 MBR 工程中的加氯消毒剂量宜根据试验资料或类似运行经验确定。当缺乏试验资料时，可按下列标准确定：
- 1 出水排放时，加氯量 4~9 mg/L。
  - 2 用作再生水时，在管网输配中，应保障余氯含量。有关规定参照 GB/T 18920、GB/T 18921。

### 8.3 剩余污泥处理与处置

- 8.3.1 MBR 工程中的剩余污泥主要由膜池排出。
- 8.3.2 MBR 工程的剩余污泥处理与处置方法应符合 GB 50014 的有关规定。
- 8.3.3 MBR 工程中的剩余污泥浓度如需要浓缩时，可采用离心浓缩或重力浓缩。

## 9 检测与控制

### 9.1 一般规定

9.1.1 MBR 工程应采用自动化控制系统。

9.1.2 MBR 工程设计应根据工程规模、工艺流程、运行管理的要求以及膜的运行要求确定检测和控制的內容。

9.1.3 仪表的选择，应按工艺要求、使用环境、经济以及技术指标等综合考虑确定。

9.1.4 所有控制或监测设备宜采用以下信号类型：

- 1 控制、监测设备的模拟量信号：4~20 mA 直流电流信号；
- 2 状态及报警指示数字输入信号：高电平为+24 VDC，低电平为 0 VDC；
- 3 控制用数字输出信号：独立的无源触点。

9.1.5 MBR 工程的过程控制系统应满足生产管理、处理工艺以及膜系统对自动化控制的要求，保证自动化控制系统在配置上的完整性和适应性。

9.1.6 MBR 工程的过程控制系统应根据设备运行要求设置自动控制或自动调节装置。

9.1.7 控制系统遵循模块化原则，应在软、硬件上都采用商业化、通用化、模块化结构的设备，使系统具有较强的扩展能力。

9.1.8 根据工艺过程的要求和设备的特点设置控制站点并组成控制网络。控制过程实现三级控制：第一、现场机旁手动控制；第二、就地控制站单元集中自动控制；第三、中央控制室全厂集中控制。

### 9.2 检测

9.2.1 MBR 工程中参与控制和管理的机电设备应设置工作和事故状态的检测装置。

9.2.2 MBR 工程的进、出水应按国家现行排放标准和环境保护部门的要求，设置相关项目的在线检测仪表。

9.2.3 MBR 工程各处理单元宜设置生产控制、运行管理所需的检测仪表。

9.2.4 各独立工作的膜池应设置流量、跨膜压差以及膜完整性检测的在线检测仪表；流量检测仪表宜增加总线通讯方式并满足全厂通讯要求。

9.2.5 室外安装仪表必须加装防护罩/箱。所有仪表自控设备必须考虑电源及信号防雷、防感应电流冲击设施。室外采集信号和控制信号必须考虑信号屏蔽和防外来干扰。

## 9.3 控制

9.3.1 MBR 工程的自动控制系统应遵循“集中管理、分散控制”的原则，设置分级控制的结构，并宜根据工程的重要等级设置系统冗余。

9.3.2 大、中型 MBR 工程宜采用“设备层、控制层、管理层”的三层结构，中、小型 MBR 工程可采用“设备层、控制层”的两层结构。

9.3.3 设备层宜设置在工艺设备车间，包括仪表、现场控制箱、阀门电动执行机构等；控制层宜设在各个现场控制站；管理层设备宜布设在中央控制室内，包括工程师站、操作员站、大屏幕显示系统等设备。

9.3.4 现场控制站宜采用光纤环网进行数据通讯，通讯协议可为工业以太网，通讯速率应采用 100/1000 MB；设备层与控制层间的通讯宜采用工业现场总线。

9.3.5 MBR 工程自动控制系统中的 PLC 设备、计算机、通讯设备等应设置不间断电源。

9.3.6 MBR 工程中的膜系统宜设置独立的 PLC 控制站。

## 9.4 计算机控制管理系统

9.4.1 MBR 工程的计算机控制管理系统，应具有生产管理、设备管理、信息管理和报表输出的功能。

9.4.2 MBR 工程的计算机控制管理系统的设计包括硬件配置、软件组态、通讯设计。

9.4.3 计算机控制管理系统硬件配置应满足工程需要，设置工程师站、操作员站等，重要工程可设置上位监控(容错)服务器、大屏显示系统等。

9.4.4 计算机控制管理系统软件设计应满足 MBR 的控制要求，包含功能设

计、结构设计、程序设计，软件设计等。

9.4.5 工程师站、操作员站、服务器之间应通过局域网连接，网络形式宜采用 100/1000 MB 以太网。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

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这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规程中指明应按其它有关标准、规范执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《污水综合排放标准》 GB 8978
- 《室外排水设计规范》 GB 50014
- 《工业金属管道工程施工及验收规范》 GB 50235
- 《碳素结构钢》 GB/T 700
- 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》 GB/T 709
- 《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式与尺寸》 GB/T 985
- 《不锈钢》 GB/T 1220
- 《不锈钢冷轧钢板和钢带》 GB/T 3280
- 《不锈钢热轧钢板和钢带》 GB/T 4237
- 《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管材》 GB/T 5836.1
- 《建筑排水用硬聚氯乙烯（PVC-U）管件》 GB/T 5836.2
- 《给水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材》 GB/T 10002.1
- 《焊接质量保证钢熔化焊接头的要求和缺陷分级》 GB/T 12469
- 《城市污水再生利用 城市杂用水水质》 GB/T 18920
- 《城市污水再生利用 景观环境用水水质》 GB/T 18921
- 《焊接工艺规程及评定的一般原则》 GB/T 19866
- 《丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)压力管道系统第 1 部分:管材》 GB/T 20207.1
- 《丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)压力管道系统第 2 部分:管件》 GB/T 20207.2
- 《水处理设备技术条件》 JB/T 2932

中国工程建设协会标准

膜生物反应器工程设计规程

CECS XXX: 2015

条文说明

# 目 次

1	总 则.....	49
2	术语和符号.....	50
3	构型和工艺选择.....	52
3.1	构型.....	52
3.2	工艺选择.....	52
4	预处理设施.....	54
4.1	一般规定.....	54
4.2	格 栅.....	54
4.3	沉砂池.....	55
4.4	初沉池.....	55
5	生物处理系统.....	56
5.1	一般规定.....	56
5.2	工艺参数.....	57
5.3	容积及回流比.....	59
5.4	剩余污泥产量.....	63
5.5	曝气系统与设备.....	63
6	膜分离系统.....	67
6.1	一般规定.....	67
6.2	膜运行方式.....	67
6.3	膜通量.....	67
6.4	膜材料.....	69
6.5	膜组件.....	70
6.6	膜组器.....	70
6.7	膜池布置.....	71
6.8	膜吹扫系统.....	72
6.9	膜产水及产水辅助系统.....	72
6.10	膜化学清洗系统.....	73
7	膜污染控制与膜更换.....	74
7.1	膜污染控制一般方法.....	74

7.2	混合液调控.....	75
7.3	膜的在线化学清洗.....	77
7.4	膜的离线化学清洗.....	79
7.5	清洗废液的处理与处置.....	80
7.6	膜更换.....	80
8	后处理设施及其它.....	81
8.1	辅助化学除磷.....	81
8.2	消毒.....	81
8.3	剩余污泥处理与处置.....	82
9	检测与控制.....	83
9.1	一般规定.....	83
9.2	检测.....	83
9.3	控制.....	83
9.4	计算机控制管理系统.....	84

# 1 总 则

1.0.1 说明制定本规程的宗旨目的。

1.0.2 规定本规程的适用范围。

本规程只适用于新建、扩建和改建的处理城镇污水的膜生物反应器工程设计。鉴于工业废水水质复杂，与城镇污水水质差别大，本规程不包括工业废水的内容，但与城镇污水相近性质的工业废水，可参考本规程进行设计。

1.0.3 规定本规程中适用的膜分离类型。

基于压力差驱动的膜分离类型根据膜孔径大小分为微滤、超滤、纳滤和反渗透膜。根据实际调查，在膜生物反应器实际工程中，以微滤和超滤膜的应用为主，反渗透膜的应用较少，而应用纳滤膜的膜生物反应器目前仅处于实验室研究水平，尚未有实际工程应用案例。因此，本规程只适用于利用微滤、超滤膜分离技术的膜生物反应器工程设计。

1.0.4 规定膜生物反应器工程设计尚应符合的有关规范和标准。

有关规范和标准有：《室外排水设计规范》GB 50014、《污水再生利用工程设计规范》GB 50335、《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918、《城市污水再生利用·城市杂用水水质》GB/T 18920、《城市污水再生利用·景观环境用水水质》GB/T 18921、《城市污水再生利用工业用水水质》GB/T 19772、《城市污水再生利用农田灌溉用水水质》GB 20922、《再生水质标准》SL368等。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 超细格栅的定义。

此处定义的超细格栅的栅条间距或网孔净尺寸参考《给水排水用格栅除污机通用技术条件》CJ/T 443-2014 的规定。

#### 2.1.7 平板膜的定义。

在《膜分离技术 术语》GB/T 20103-2006 的基础上,根据近年来国内外的使用习惯,平板膜的英文由“flat membrane”改为“flat-sheet membrane”,中文定义由“外型为平板或纸片状的膜”改为“外形为平板或片状的膜”。

#### 2.1.12 膜生物反应器的定义。

与《膜分离技术 术语》GB/T 20103-2006 中的定义相比,此处的定义具体指的是污水处理领域的膜生物反应器(参见 1.0.2 关于本规程适用范围的描述)。

#### 2.1.15 膜池的定义。

此处所述的“有进一步降解有机物和进行硝化反应的功能”,仅适用于目前城镇污水和工业废水处理中常见的好氧膜生物反应器,不适用于厌氧膜生物反应器。

#### 2.1.28 膜污染的定义。

与《膜分离技术 术语》GB/T 20103-2006 中的定义相比,此处的定义具体指的是污水处理领域的膜生物反应器中发生的膜污染,“料液中的某些成分”具体化为“活性污泥混合液中的污泥絮体、胶体粒子、溶解性有机和无机盐类”。

#### 2.1.30 反冲洗的定义。

与《膜分离技术 术语》GB/T 20103-2006 中的定义相比,此处的定义更具体。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 流量、流速的符号和单位说明。

本规程中，以温度 0 °C、压强 101.325 kPa 作为计量气体体积流量的标准状态。Nm<sup>3</sup>/h 是指标准状态下的 m<sup>3</sup>/h。

## 3 构型和工艺选择

### 3.1 构型

#### 3.1.1 规定膜生物反应器工程采用的 MBR 构型。

外置式 MBR 把膜组器和生物反应池分开设置，生物反应池内的混合液经泵增压后进入膜组器，在泵的压力下混合液中的液体透过膜，成为系统处理出水；固形物、大分子物质等则被膜截留，随浓缩液回流到生物反应池。外置式 MBR 的特点是运行稳定可靠，操作管理容易，易于膜的清洗、更换以及增设。但动力消耗较高，并且泵高速旋转产生的剪切力会使某些微生物菌体出现失活现象。因此，外置式 MBR 应用较少，但对于处理规模小、易发生膜污堵的场合，仍可采用外置式 MBR。

浸没式（一体式和分体式）MBR 是把膜组件器浸没于生物反应池或膜池内。原水进入 MBR 后，其中的大部分污染物被混合液中的活性污泥分解，在抽吸泵或水头差提供的压差下由膜过滤出水。通过设置在膜组器下方的曝气系统的吹扫作用防止污泥在膜表面沉积。为进一步减少膜污染，浸没式 MBR 一般采用间隙运行方式。浸没式 MBR 由于省去了混合液加压循环泵系统，具有设备简单、占地空间小、整体性强、能耗相对较低等优点，但在操作管理和膜组器件的清洗与更换上不及外置式 MBR。目前，大部分处理城镇污水的 MBR 工程采用浸没式 MBR 构型。

#### 3.1.2 规定 MBR 构型的选择原则。

### 3.2 工艺选择

#### 3.2.1 规定 MBR 工艺和系统的设计或选择原则。

MBR 工艺和系统应根据污水水质和出水水质要求进行设计或选择。处理出水水质根据其排放或回用目标，应符合的标准有：《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918、《城市污水再生利用·城市杂用水水质》标准 GB/T 18920、《城市污水再生利用·景观环境用水水质》标准 GB/T 18921 等。

#### 3.2.2 规定典型的 MBR 处理工艺流程。

根据处理出水水质要求的不同，典型的 MBR 处理工艺流程有：去除有机污染物的 O-MBR 工艺、兼顾有机污染物去除和脱氮功能的 A/O-MBR 工艺、兼顾有机污染物去除和脱氮除磷功能的 A/A/O-MBR 工艺等。

根据实际情况，超细格栅也可设在初沉池前，便于和沉砂池合建，节约用地。

### 3.2.3 规定其它可提升脱氮除磷效果的改进 MBR 处理工艺流程。

为了提升 MBR 工艺的脱氮除磷效果，可采用各种改进 MBR 工艺，如强化内源反硝化的 A/A/O/A-MBR 工艺、多级 A/O-MBR 工艺以及其它工艺等。多种改进的 MBR 工艺可参考 ZL200810097427.2、ZL201110447335.4、ZL201120558658.6、ZL201220273902.9 等专利。

当内源碳不足以保障脱氮效果时，可向后置缺氧池投加碳源，以提高反硝化速率。

### 3.2.4 关于在污水处理厂中设置调节设施的规定。

据调查，国内有些城镇污水处理厂，由于其水质、水量变化大，致使生物处理效果无法保证和膜系统无法稳定运行。本条据此制定。

## 4 预处理设施

### 4.1 一般规定

4.1.1 规定 MBR 工艺的预处理设施。

4.1.2 规定传统活性污泥工艺升级改造为 MBR 工艺时，预处理设施的升级改造原则。

4.1.3 规定 MBR 主体工艺对进水中油脂物质含量和 pH 的要求。

污水中含有的油脂物质含量过高，会对膜材料造成污染。根据《环境保护产品技术要求 膜生物反应器》HJ 2527-2012 对 MBR 进水水质的要求，结合主要膜材料生产厂家对进入 MBR 主体工艺油脂物质含量的规定和资料调研，制定本条。

对于污水中油脂含量过高的情形，宜在预处理设施中设置除油装置。对于污水 pH 过高或过低的情形，宜在预处理设施中设置 pH 调节池。

### 4.2 格 栅

4.2.1 关于 MBR 工艺中格栅的设置规定。

城镇污水处理厂中格栅用以去除污水中较大的悬浮物、漂浮物、纤维物质以及固体颗粒物。

在传统城镇污水处理工艺中一般需要设置粗格栅（16~25mm）和细格栅（1.5~10mm）。但由于粗格栅和细格栅的间距比较大，通常难以满足 MBR 需要去除毛发及细小纤维状物质等的要求，造成毛发等会缠绕膜丝或堵塞膜间隙和曝气口，影响膜组器的稳定运行。因此，对于 MBR 工艺，除粗格栅和细格栅以外，还需要设置超细格栅。设置合理的格栅对于维持膜组器的稳定运行至关重要。

4.2.2 关于 MBR 工艺中超细格栅的设置规定。

根据实际情况，超细格栅也可设在初沉池前，或与沉砂池合建以节约用地。

## 4.3 沉砂池

### 4.3.1 关于 MBR 工艺中设置沉砂池的规定。

MBR 工程中应设置沉砂池，沉砂池的设计基于去除相对密度 2.65、粒径 0.2mm 以上的砂粒，以避免后续处理构筑物和机械设备的磨损，防止对生物处理系统和污泥处理系统造成不利影响，其设计和选择应符合《室外排水设计规范》GB 50014 的有关规定。当进水悬浮物浓度较高时，可以适当延长沉砂池的水力停留时间，提高对悬浮物的去除效果，以减轻悬浮物对 MBR 工艺中膜组器的影响。

考虑到曝气沉砂池具有一定的去除油脂的功能以及城镇污水处理厂进水水质的波动性，建议 MBR 工艺中首先选用曝气沉砂池，以降低膜污染的风险。

当进水悬浮物浓度超过 350mg/L 时，可适当延长沉砂池的水力停留时间或设置后续初沉池，以降低进入 MBR 系统悬浮物的含量，减轻膜污染的风险。

## 4.4 初沉池

### 4.4.1 关于 MBR 工艺中设置初沉池的规定。

初沉池主要去除污水中的悬浮物，以减轻对后续生物处理系统的影响，其设计和选择应符合《室外排水设计规范》GB 50014 的有关规定，沉淀时间为 0.5~2.0h，其相应的表面水力负荷为 1.5~4.5m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

### 4.4.2 关于 MBR 工艺中设置短时初沉池的规定。

按《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918 要求，对排放的污水应进行脱氮除磷处理。为节省碳源和保证较高的脱氮除磷效果，可以不设初沉池。但为减轻污水中的悬浮物对膜的污染，可以设短时初沉池。根据德国 ATV 标准，推荐水力停留时间为 0.5~1h，表面水力负荷为 2.5~4.0m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)。

对于设置初沉池的 MBR 工艺，其前面的沉砂池可以适当减少水力停留时间。

## 5 生物处理系统

### 5.1 一般规定

5.1.1 规定 MBR 中生物处理工艺的选择原则以及工艺设计中应包括的主要内容。

MBR 的生物处理工艺与常规生物处理工艺类似，膜的使用在本质上并没有改变微生物的作用。根据处理目标的不同，可采用不同的工艺配置。以去除有机物为主要目标、对氮磷的去除无要求时，生物部分可采用单一的好氧（O）工艺；以生物脱氮和去除有机物为主要目标时，可采用缺氧/好氧（A/O）组合工艺；在用于污水生物脱氮除磷时，可采用厌氧/缺氧/好氧（A/A/O）组合工艺或各种改进生物工艺。

MBR 工艺中膜的作用主要包括两方面：一是对污染物的直接物理截留；二是通过对微生物的完全截留，强化生物过程。MBR 工艺中通常采用微滤膜或超滤膜，膜孔径范围分别为 0.1~0.4 $\mu\text{m}$  和 0.02~0.1 $\mu\text{m}$ ，可完全截留悬浮颗粒类污染物，并部分截留胶体及溶解性污染物。膜受到一定程度的污染后（例如在膜表面形成凝胶层），有效孔径减小，对胶体及溶解性污染物的截留能力进一步增强。

膜对生物过程的潜在强化作用，体现在以下几方面：（1）有利于维持较低污泥负荷，使微生物处于内源呼吸期，使有机物的降解较为彻底；（2）有利于硝化菌的富集，强化氨氮去除效果；（3）有利于保有较高污泥浓度、提高单位质量污泥的含磷量，强化生物除磷效果；（4）有利于强化生物驯化作用，提升微生物对难降解污染物的降解能力。

5.1.2 关于 MBR 工艺中混合液回流路线及回流比的规定。

MBR 中生物处理工艺流程、各生化反应池的数量和相对位置可根据实际情况进行调整。混合液回流路线及回流比的设置，应综合考虑其对污染物降解、厌氧/缺氧区溶解氧（DO）水平以及污泥浓度的影响。提高由好氧区至厌氧/缺氧区的混合液回流比，一方面有利于提高硝态氮参与反硝化的比例、提高厌氧/缺氧区的污泥浓度，但另一方面会升高 DO 水平，当 DO 超过

某限值，将不利于维持厌氧/缺氧环境。缺氧区的 DO 不宜高于 0.2mg/L，否则反硝化过程会受到明显抑制(参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》)。

膜池混合液可以回流至好氧区，或直接回流至缺氧区(此时需特别注意富氧回流混合液对缺氧区 DO 的影响)。膜池向好氧区或缺氧区的混合液回流比过低时，将可能造成膜池污泥浓度过高而加剧膜污染。

### 5.1.3 关于增加化学除磷单元的规定。

根据国内城镇污水处理厂的实际运行经验，大部分污水处理厂的生物除磷效果不稳定，出水水质不符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918 中的一级 A 标准 (TP<0.5mg/L) 要求，此时，需要增加化学除磷单元并增设相应设施。

### 5.1.4 关于 MBR 好氧生化池 DO 的规定。

对于传统活性污泥法工艺，《室外排水设计规范》GB 50014 规定好氧区的 DO 一般不低于 2mg/L。而对于 MBR 工艺，由于 MBR 混合液中污泥粒径较细，比表面积较大，有利于 DO 的扩散，相对于普通活性污泥法，较低的 DO 即可以满足传氧的需求。

## 5.2 工艺参数

### 5.2.1 关于 MBR 脱氮除磷工艺的主要设计参数的规定。

主要设计参数包括污泥浓度、污泥负荷、总污泥龄 (SRT)、回流比、污泥总产率系数以及动力学参数等。

表 1 中有关污泥浓度、污泥负荷与回流比等的参数主要来源于清华大学对全国十余座万吨/日以上级处理城镇污水的 MBR 工程的实测和文献调研结果。

表 1 MBR 工程污泥浓度、污泥负荷与回流比

工程名	污泥浓度(gMLSS/L)				MLVSS/ MLSS	污泥负荷 kgBOD <sub>5</sub> /(kg MLSS d)	总 SRT (d)	回流比*		
	厌氧 池	缺氧 池	好氧 池	膜池				R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
北京某 污水厂 1	4~6	7~9	9~10	10~11	0.69~0.72	0.041	20	1	5	5
北京某 污水厂 2			5	6.9	0.68~0.69	0.035~0.12	27	1	3	3
北京市 某污水 厂 3				4~5.2	0.63~0.68		26	1	2	4
北京某 污水厂 4				5.9	0.39~0.4		28	2	3	5
无锡某 污水厂 1	3.5~4	4~5	6~7	9~10	0.43~0.44	0.02~0.094	28	2	3	5
无锡某 污水厂 2	8~9	7~10	8~11	6~15	0.41~0.46		20~25	1	3.5	3.5
无锡某 污水厂 3	4~9	4~8	5~10	6~12	0.42		15		4	5
无锡某 污水厂 4	4~6	6~8	8~9	9~12	0.52~0.55		32~34	1.5	3.5	4
昆明某 污水厂				13.5	0.43~0.45	0.038	24	2	4	5
本规程	6~15 (膜池)**				0.4~0.7	0.03~0.1	15~30	1~2	3~5	4~6

\*R<sub>1</sub>: 由缺氧区(池)至厌氧区(池)的混合液回流比; R<sub>2</sub>: 由好氧区(池)至缺氧区(池)的混合液回流比; R<sub>3</sub>: 由膜池至好氧区(池)的混合液回流比;

\*\*对于平板膜 MBR 可增高至 10~20g/L。

与传统生物脱氮除磷工艺相比, MBR 脱氮除磷的主要工艺参数取值有所不同, 主要表现在以下几个方面: (1) MBR 工艺具有较长的污泥龄, 使得污泥浓度较高, 典型范围为 6~15gMLSS/L (对于平板膜 MBR 可增高至 10~20gMLSS/L), 远高于传统生物脱氮除磷工艺 (2.5~4.5g/L); (2) 由于污泥浓度高, 相应的污泥负荷低, 为 0.03~0.1 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d), 低于传统工

艺 ( $0.05\sim 0.15 \text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ); (3) MBR 的污泥总产率系数较低, 一方面由于污泥龄较长, 另一方面由于污泥负荷低, 导致微生物的内源衰减速率增加。根据实际工程的调研结果, MBR 的污泥总产率系数通常为传统工艺的 70%左右, 本规程中取为  $0.2\sim 0.4\text{kgMLSS}/\text{kgBOD}_5$  (有初沉池时) 或  $0.5\sim 0.7 \text{ kgMLSS}/\text{kgBOD}_5$  (无初沉池时); (4) MBR 工艺的 MLVSS/MLSS 比例 ( $0.4\sim 0.7$ ) 通常低于传统工艺值 ( $>0.6$ ), 主要是由于 MBR 对有机物的降解更充分、膜对无机颗粒物 (非 MLVSS 部分悬浮物) 的截留更有效。

与中空纤维膜 MBR 相比, 平板膜 MBR 的膜池污泥浓度可以更高, 可高达  $20\text{gMLSS}/\text{L}$ 。其它反应区 (池) 的设计污泥浓度可根据回流比衡算得到。在污泥浓度高于  $15\text{gMLSS}/\text{L}$  时, 需特别注意反应池内污泥流态、传氧效率以及膜污染等问题。

MBR 污泥理论产率系数的取值参考 GB 50014 中缺氧/好氧法和厌氧/缺氧/好氧法的取值, 为  $0.3\sim 0.6\text{kgMLVSS}/\text{kgBOD}_5$ 。

污泥内源呼吸衰减系数的取值综合参考 GB 50014、实际 MBR 工程调研以及文献调研结果, 取为  $0.05\sim 0.2\text{d}^{-1}$ 。

硝化菌最大比增长速率、最大比硝化速率、氨氮去除的半速率常数以及反硝化脱氮速率的取值说明, 详见 5.3.5、5.3.6、5.3.7 的条文说明。

单位 MLVSS 的含磷量 ( $P_x, \text{kgP}/\text{kgMLVSS}$ ), 与污泥中聚磷菌所占比例及聚磷菌的聚磷状态有关。清华大学测定了 3 座处理城镇污水的 MBR 工程中膜池污泥含磷量, 在  $1.5\sim 2.5\%$  之间, 即为  $0.03\sim 0.05 \text{ kgP}/\text{kgMLVSS}$ , 在传统工艺值的范围。因此, 单位污泥的含磷量参考 GB 50014 取值, 取为  $0.03\sim 0.07\text{kgP}/\text{kgMLVSS}$ 。该数值范围仅适用于生物除磷; 对于在生物单元投加混凝剂并起到化学除磷效果的情形, 该数值不适用。

## 5.3 容积及回流比

### 5.3.1 关于膜池部分容积计入好氧生物反应容积的规定。

对于浸没分体式 MBR 构型, 膜池由于处于好氧状态, 也起到好氧生物反应池的作用, 对有机物和氨氮有进一步降解作用, 因此在设计计算中, 扣

除膜组器所占体积后的膜池容积宜计入好氧生物反应所需容积。

## I 除 碳

5.3.2 规定好氧生物反应所需容积的计算公式。

式（5.3.2）中的  $S_0$  为生物反应池进水  $BOD_5$  浓度，该浓度低于总进水  $BOD_5$  浓度。当仅有总进水水质数据时，可根据预处理及一级处理对  $BOD_5$  的去除率，由总进水  $BOD_5$  浓度估算生物反应池进水  $BOD_5$  浓度。对于传统工艺，预处理及一级处理对  $BOD_5$  的整体去除率粗略地取为 20~30%（参考中国建筑工业出版社《给水排水设计手册》第 2 版）。对于 MBR 工艺，格栅间距为 0.5~1.5mm 的超细格栅对  $BOD_5$  的典型去除率范围为 5~50%（参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》），初沉池对  $BOD_5$  的去除率（%）可由下式估算（参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》）：

$$R = \frac{t}{a + b \cdot t}$$

其中  $t$  为沉淀时间（h）； $a$  和  $b$  为经验参数， $a$  和  $b$  的典型值分别为 0.018 和 0.020。

式（5.3.2）中的  $S_e$  为生物反应池出水  $BOD_5$  浓度，由于在 MBR 工艺中系统出水为膜出水，因此这里为膜出水  $BOD_5$  浓度。当 MBR 工艺对  $BOD_5$  的去除率大于 90% 时，出水  $BOD_5$  浓度可不计入计算。

式（5.3.2）中的  $X$  为好氧区（池）和膜池内混合液悬浮固体平均浓度。在传统工艺中污泥浓度基本上是均匀分布的，而在 MBR 工艺中污泥浓度是非均匀分布的，好氧区（池）的污泥浓度低于膜池的污泥浓度，二者浓度的差异与污泥回流比有关。采用好氧区（池）中的污泥浓度计算得到的好氧生物反应所需容积偏大，而采用膜池的污泥浓度计算得到的结果偏小。经综合考虑，采用好氧区（池）和膜池污泥浓度的平均值作为计算依据。

5.3.3 规定膜池到好氧区（池）的混合液回流量的计算公式。

对于浸没分体式 MBR 构型，由膜池至好氧区（池）的混合液回流比影

响膜池污泥浓度和膜池混合液中所挟带的溶解氧在好氧区（池）中的再利用：回流比越低，膜池与好氧区（池）之间的污泥浓度分配越不均、膜池污泥浓度越高；膜池混合液中所挟带溶解氧的再利用效果越低。从减轻膜污染的角度考虑，膜池污泥浓度不宜过高。

## II 除碳/脱氮

5.3.4 规定除碳/脱氮 A/O-MBR 工艺中生物反应池容积的计算原则。

5.3.5 规定好氧生物反应所需容积的计算公式。

由于好氧区（池）和膜池均为好氧环境，且都会发生硝化反应，好氧生物反应所需容积应为好氧区（池）和膜池容积（扣除膜组器容积后）之和，硝化菌的污泥龄应为好氧区（池）和膜池的总污泥龄。

在除碳/脱氮的好氧生物反应所需的容积计算中，硝化菌比生长速率应进行温度校正。在《室外排水设计规范》GB 50014 中，硝化菌最大比生长速率以 15°C 为基准，对硝化作用中氨氮的半速率常数没有考虑温度的影响。本规程给出 20°C 下：硝化菌的最大比生长速率  $\mu_{nm}$  典型值为  $0.66d^{-1}$ （由 GB 50014-2006 给出的 15°C 时  $0.47 d^{-1}$  换算而得），并采用安全系数  $F$ （典型取值范围 1.5~3）对计算所得的好氧污泥泥龄进行调整或修正；半速率常数  $K_n$  为  $0.5\sim 1.0mgNH_4^+-N/L$ （典型值 0.74）；最大比生长速率和半速率常数的温度校正因子分别为  $1.07^{(T-20)}$  和  $1.053^{(T-20)}$ 。式（5.3.5-3）的表达式、半速率常数取值以及温度校正因子参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》。

5.3.6 规定基于硝化速率的好氧生物反应所需容积的计算公式。

对于除碳/脱氮的好氧区（池）的容积计算，为了设计的灵活性，本规程在 GB 50014 的基础上，增加了基于硝化速率的计算方法，作为参考。

氨氮的去除由硝化作用和微生物同化作用两部分贡献，因此式（5.3.6-1）右侧的分子表示为氨氮的去除总量减去微生物同化去除的氨氮量（相当于排泥去除的氨氮量），0.124 是按照微生物的经验化学式  $C_5H_7NO_2$  计算得到的微生物含氮比例（ $14/113=0.124$ ）。

式（5.3.6-2）（硝化动力学）与式（5.3.5-3）（硝化菌增殖动力学）在原

理上一致。在 20°C 下，硝化速率表示为：

$$v_n = v_{nm} \cdot \frac{N_o}{K_n + N_o}$$

最大比硝化速率  $v_{nm}$  的温度校正因子参考最大比生长速率  $\mu_{nm}$  的温度校正因子，为  $1.07^{(T-20)}$ ； $K_n$  的温度校正因子为  $1.053^{(T-20)}$ （参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》）。由此，得到（5.3.6-2）。

在 20°C 下，MBR 的最大比硝化速率可取为 0.02~0.1，好氧反应所需容积计算结果应与式（5.3.5）的计算结果一致。

### 5.3.7 规定缺氧区（池）容积的计算公式。

对于除碳/脱氮的缺氧区（池）的容积计算，本规程参考《室外排水设计规范》GB 50014，无试验资料时，20°C 的反硝化速率  $K_{dn}$  值取为 0.03~0.06kgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/(kgMLSS·d)。温度校正因子取为  $1.026^{(T-20)}$ ，参考美国 Metcalf & Eddy 第 4 版《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》。

在式（5.3.7-1）中，关于参与反硝化反应的氮量的计算，GB 50014 的算法是：进水凯氏氮-出水总氮-细胞合成所需氮量，本规程修改为：进水总氮-出水总氮-细胞合成所需氮量。

反硝化脱氮速率的保证，需要污水中有足够碳源。污水中碳源不足时，可投加甲醇和乙酸等碳源。对于甲醇等易燃药剂的贮存、运输和使用，需有相应的防火措施。对于 A/A/O-MBR 同步脱氮除磷工艺，外加碳源的投放点除了缺氧池外，也可以是厌氧池，以同时达到促进反硝化和生物除磷的效果；但往厌氧池内投加碳源需慎重，投加量过大，将不利于聚磷菌与聚糖菌的竞争，反而抑制生物除磷（参考美国 Water Environment Federation《Design of Municipal Wastewater Treatment Plants》第 5 版）。

5.3.8 规定由好氧区（池）至缺氧区（池）的混合液回流量及回流比的计算公式。

## III 除碳/脱氮/除磷

5.3.9 规定同时脱氮除磷 A/A/O-MBR 工艺中厌氧区（池）容积的计算原则。

### 5.3.10 规定厌氧区（池）容积的计算公式。

厌氧区（池）水力停留时间宜为 1~2h，若超过 3h，则有可能发生硫酸盐还原反应而生成硫化氢，产生臭味并对微生物产生毒害作用（参考日本下水道协会 2009 年版《下水道施设计画·设计指针与解说》）。

### 5.3.11 规定由缺氧区（池）至厌氧区（池）的混合液回流量的计算公式。

由缺氧区（池）至厌氧区（池）的污泥回流比  $R_1$  的取值不宜过高，过高的  $R_1$  会导致厌氧区（池）真实水力停留时间（ $=t_{A1}/(1+R_1)$ ）低从而释磷反应不充分、动力能耗大等问题，并存在回流污泥中的电子受体（例如缺氧池末端残余的硝态氮）进入厌氧池抑制释磷反应的隐患。MBR 工程中  $R_1$  通常为 1~2。

### 5.3.12 规定生物过程对磷的去除率的估算公式。

## 5.4 剩余污泥产量

### 5.4.1 规定剩余污泥产量的计算公式。

对于剩余污泥产量，《室外排水设计规范》GB 50014 采用两种方法计算，分别基于污泥龄及污泥产率系数/衰减系数。本规程在此基础上，增加了第三种算法，即利用污泥总产率系数计算。

出于化学除磷、控制膜污染等目的，向系统内投加铝盐或铁盐混凝剂时，对污泥产量的增加量，可按照铝元素质量的 5 倍、铁元素质量的 3.5 倍估算（参考日本下水道协会 2009 年版《下水道施设计画·设计指针与解说》）。

### 5.4.2 规定剩余污泥排放量的计算公式。

在 MBR 工艺中由于膜池中的污泥浓度最高，故剩余污泥从膜池排出。

## 5.5 曝气系统与设备

### 5.5.1 规定好氧区（池）供氧设计的一般原则。

### 5.5.2 规定好氧区（池）所需氧量的计算公式。

对于好氧区（池）所需氧量，在《室外排水设计规范》GB 50014 考虑的有机物氧化需氧、硝化需氧、反硝化补偿的基础上，本规程增加考虑了膜池

富氧混合液回流的影响；此外，膜池由于膜吹扫曝气，膜池混合液本身具有较高的溶解氧浓度，足以维持膜池内有机物氧化和硝化反应，因此应从好氧区（池）总需氧量中扣除膜池部分的贡献。

对于浸没一体式 MBR 构型，当  $V_0=0$  时，式 5.5.2 计算结果为 0，膜吹扫曝气足以维持生物反应需氧量，无需为好氧生物反应再单设曝气系统。

### 5.5.3 规定需氧量各个组分的计算公式。

关于有机物氧化所需氧量  $O_s$  的计算，碳物质（以  $BOD_5$  计）的氧当量为  $1.47\text{kgO}_2/\text{kgBOD}_5$ ，1.47 是最终生物需氧量(UBOD)与 5 日生物需氧量( $BOD_5$ ) 的典型比值。细菌细胞的氧当量  $1.42\text{kgO}_2/\text{kgMLVSS}$  可由 MLVSS 的经验化学式  $C_5H_7NO_2$  估算：每氧化 1 分子  $C_5H_7NO_2$  需 5 分子的  $O_2$ ，故  $5 \times 32 / 113 = 1.42$ 。

硝化单位凯氏氮所需氧量  $4.57\text{kgO}_2/\text{kgN}$  及反硝化单位硝态氮所抵消的氧量  $2.86\text{kgO}_2/\text{kgN}$ ，通过化学反应计量关系得到：硝化 1 分子的凯氏氮需要 2 分子的  $O_2$ （涉及 8 个电子的转移），故  $2 \times 32 / 14 = 4.57$ ；反硝化 1 分子的硝态氮涉及 5 个电子的转移，相当于 1.25 分子  $O_2$  还原所需电子转移数，故  $1.25 \times 32 / 14 = 2.86$ 。细菌细胞的含氮量  $0.124\text{kgN}/\text{kgMLVSS}$  根据 MLVSS 的经验化学式  $C_5H_7NO_2$  估算而得。

膜池至好氧区（池）的回流混合液所携带的氧量由溶解氧和气态氧共同贡献。一方面，溶解氧可近似认为能被完全利用；另一方面，由于传质效率问题（基于双膜理论），气态氧利用率远低于溶解氧。因此，式（5.5.3-4）只计算溶解氧的贡献。由膜池至好氧区（池）的回流混合液所携带的溶解氧浓度根据实测确定，无资料时，可按  $2\text{mg/L}$  计。

### 5.5.4 规定将污水需氧量换算成标准状态下清水需氧量的计算公式。

式(5.5.4-1)参考美国 Metcalf & Eddy《Wastewater Engineering: Treatment and Reuse》第 4 版和美国 Water Environment Federation《Design of Municipal Wastewater Treatment Plants》第 5 版。

活性污泥混合液的密度通常为  $1.002 \sim 1.006\text{g}/\text{cm}^3$ 。

我国范围内的重力加速度的典型取值为  $9.78 \sim 9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

实际大气压宜以实测值为准。缺乏资料时，可按下式估算：

$$P = 101.325 \cdot \exp\left(-\frac{0.03418 \cdot z}{273.15 + T}\right)$$

其中  $P$  为大气压 (kPa),  $T$  为气温 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $z$  为海拔高度 (m)。

对于清水需氧量的计算: 1 个大气压下、不同温度下清水中的饱和溶解氧浓度 ( $C_{O,s}$ ) 列于表 2。

表 2 1 个大气压下、不同温度下清水中的饱和溶解氧浓度 ( $C_{O,s}$ )

温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_{O,s}$ (mg/L)	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_{O,s}$ (mg/L)	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$C_{O,s}$ (mg/L)
0	14.60	13	10.53	26	8.09
1	14.20	14	10.29	27	7.95
2	13.81	15	10.07	28	7.81
3	13.45	16	9.86	29	7.67
4	13.09	17	9.65	30	7.54
5	12.76	18	9.45	31	7.41
6	12.44	19	9.26	32	7.29
7	12.13	20	9.08	33	7.17
8	11.83	21	8.90	34	7.05
9	11.55	22	8.73	35	6.93
10	11.28	23	8.56	36	6.82
11	11.02	24	8.40	37	6.72
12	10.77	25	8.24	38	6.61

与传统活性污泥工艺相比, MBR 工艺中污泥浓度很高, 因此  $\alpha$  系数与传统活性污泥法有明显差别。大量的研究发现, MBR 工艺中  $\alpha$  系数与 MLSS (g/L) 之间存在指数关系:

$$\alpha = k_1 \cdot \exp(-k_2 \cdot \text{MLSS})$$

其中  $k_1$  和  $k_2$  为经验系数。对于 6~20g/L 的 MLSS 范围,  $\alpha$  系数与 MLSS 的关系式可参考图 2 (根据清华大学对北京市 5 座万吨/日以上级 MBR 工程的调查与测定结果),  $k_1$  为 1.7,  $k_2$  为 0.078。

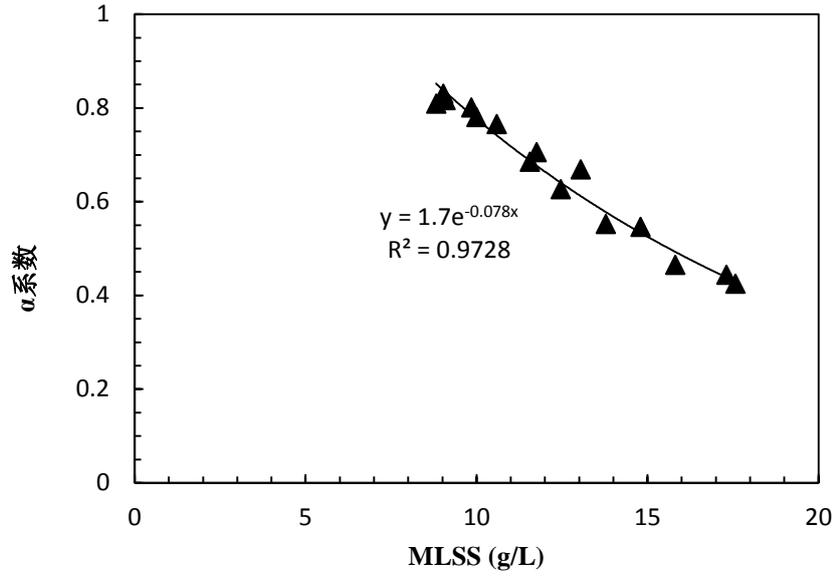


图 1  $\alpha$  系数与 MLSS 的关系式（根据清华大学对北京市 5 座万吨/日以上级 MBR 工程的调查与测定结果）

5.5.5 规定鼓风曝气时好氧区（池）所需供气量的计算公式。曝气设备的氧转移效率取值可参考设备生产厂家提供的技术参数。

5.5.6 规定曝气系统及设备的设计原则。

## 6 膜分离系统

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 规定膜分离系统的组成。
- 6.1.2 规定膜分离系统的设置原则。
- 6.1.3 规定 MBR 工程规模的分类原则。

### 6.2 膜运行方式

- 6.2.1 规定 MBR 工程中膜系统的运行模式。
- 6.2.2 规定浸没式 MBR 的运行方式。

调研了国内代表性浸没式 MBR 膜组器的运行方式，如表 3 所示。

表 3 代表性浸没式 MBR 膜组器的运行方式

膜厂家	运行时间(min)	暂停时间(min)
日本某膜组器 1	7	1
日本某膜组器 2	9	1
美国某膜组器	13	2
中国某膜组器 1	7	1
中国某膜组器 2	8	2

因此，本规程选择过滤运行期 7-13min；暂停期 1-3min。

- 6.2.3 规定外置式 MBR 的运行方式。

### 6.3 膜通量

- 6.3.1 规定膜平均通量和运行通量的换算公式。
- 6.3.2 规定膜运行通量的取值原则。

膜临界通量是指使污泥颗粒开始在膜表面沉积的膜通量，当膜运行通量低于该临界通量时，污泥颗粒在膜表面无明显沉积，膜过滤阻力不随运行时间明显升高；而当膜运行通量大于该临界通量时，膜污染发展迅速。因此，膜运行通量的取值应小于膜临界通量。

膜临界通量与膜材料类型、膜组件和膜组器型式、污泥混合液性质、水力条件、水温等因素有关，通常可以采用“通量阶式递增法(stepwise method)”进行测定。在一定的操作条件（主要指混合液污泥浓度和膜组器曝气强度）下，采用恒通量运行模式，使膜组件运行一个时间段  $\Delta T$ （不小于 30min），观测跨膜压差（TMP）在  $\Delta T$  内的变化，若 TMP 保持恒定，调节出水抽吸泵使膜通量增加一个阶量，重新观测 TMP 在下一个  $\Delta T$  内的变化。重复上述过程，直到出现 TMP 在  $\Delta T$  内不能稳定（即 TMP 在  $\Delta T$  内随时间不断增长）为止，此时的膜通量记为  $J_{N+1}$ （N 为试验测定中膜通量阶量的增加次数）。即  $J_{N+1}$  为这个操作条件下使“TMP 上涨的最小的膜通量”，则  $J_N$  为在这个操作条件下“TMP 恒定的最大的膜通量”。从而认为临界通量介于  $J_N$  与  $J_{N+1}$  之间，称之为临界通量区。利用通量阶式递增法测定临界通量时，由于试验条件的限制，通量递增步长不可能无限缩小，因此无法得到准确的临界通量值，只能得到一个临界通量区。

### 6.3.3 规定膜平均通量的参考取值范围。

调研了国内代表性 MBR 膜组器的膜平均通量取值范围，如表 4 所示。

表 4 代表性 MBR 膜组器的平均通量（参考范围）

浸没式膜组器	膜平均通量(LMH)	外置式膜厂家	膜平均通量(LMH)
日本某膜组器 1	15~22	荷兰某膜组器	30~45
日本某膜组器 2	20~25	德国某膜组器	30~45
美国某膜组器	15~20		
中国某膜组器 1	20~25		
中国某膜组器 2	15~25		
中国某膜组器 3	15~20		

因此，本规程选择浸没式 MBR 膜平均通量参考取值范围为 15~25LMH；外置式 MBR 的参考取值范围为 30~45LMH。

### 6.3.4 规定膜峰值通量和强制通量的选择原则。

当进水水量为峰值流量时，MBR 可在膜峰值通量下运行；一组或几组膜组器由于膜污染进行清洗或由于事故进行检修时，MBR 可在膜强制通量下

运行。但膜峰值通量和膜强制通量过高或运行时间过长，会对膜系统的运行稳定性产生影响。根据对已有 MBR 工程运行情况的调研，峰值通量和强制通量的运行时间每天累积不宜超过 4h 时，单次不宜超过 2h。膜峰值通量和膜强制通量宜按膜的临界通量选取，并满足污水处理厂的总变化系数需求。以《室外排水设计规范》GB 50014 给出的数值为基础，无测定资料时，综合生活污水量的总变化系数  $K$  与平均日水量  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) 之间的近似关系为：

$$K = \begin{cases} 4.31 \times Q^{-0.107} & (Q < 100000) \\ 1.3 & (Q \geq 100000) \end{cases}$$

对于新建分流制排水系统的地区，或既有地区根据当地排水系统的实际改建需要，上述  $K$  值还宜适当提高。

## 6.4 膜材料

### 6.4.1 规定 MBR 工程中的膜类型。

根据实际调查，在 MBR 实际工程中，以微滤和超滤膜的应用为主，反渗透膜的应用较少，而应用纳滤膜的 MBR 目前仅处于实验室研究水平，尚未有实际工程应用案例。

### 6.4.2 规定 MBR 工程中膜材料的选择原则。

### 6.4.3 规定 MBR 工程中对中空纤维膜的强度要求。

对于 MBR 工程中使用的中空纤维膜组器，保持足够的中空纤维膜丝的强度对 MBR 工程至关重要。中空纤维膜丝的强度过低时，在运行中容易发生断丝，造成膜寿命缩短，膜更换频率加快。根据调查，在 MBR 实际工程中应用的代表性中空纤维膜丝的抗拉断强度如表 5 所示。

表 5 MBR 实际工程中代表性中空纤维膜丝的抗拉断强度

膜丝种类	抗拉断强度 (N)	运行年限 (年)	运行情况
产品 1	>50	5	无断丝
产品 2	~20	3	无断丝
产品 3	~10	3	少量断丝
产品 4	<8	3	断丝严重

因此，根据 MBR 工程规模和重要程度，规定本条。

6.4.4 规定 MBR 工程中的膜材质。除了条文中所列的常用有机高分子材料之外，陶瓷等无机材料也可用于 MBR 工程。有机高分子材料适用于中空纤维膜组件、平板膜组件和管式膜组件，无机材料则适用于平板膜组件和管式膜组件。

## 6.5 膜组件

6.5.1 规定 MBR 工程中膜组件的选择原则。

6.5.2 规定 MBR 工程中膜组件的型式。

6.5.3 规定不同构型 MBR 工程中的膜组件型式。

6.5.4 规定膜组件的保持方式。

6.5.5 关于制备膜组件的材料的规定。

## 6.6 膜组器

6.6.1 规定膜组器的膜面积的计算公式。

6.6.2 规定膜峰值通量的校核方法。

6.6.3 规定膜组器数量的计算公式。

6.6.4 规定膜组器的选型原则。

膜组器的选型可参考《环境保护产品技术要求 膜生物反应器》HJ 2527 中的相应条文。HJ 2527 适用于日处理水量不大于 500m<sup>3</sup>/d 的生活污水和可生化处理的工业废水处理或回用的膜生物反应器。对于单个膜组器处理规模不大于 500m<sup>3</sup>/d 的情形，在膜组器的选型部分可参考 HJ 2527。

#### 6.6.5 规定膜组器出水管的设置原则。

在出水管上，应设置化学清洗管接口和阀门，用于实施在线化学清洗。阀门的设置是为了便于膜组器的隔离和检修。

#### 6.6.6 规定膜组器内部水流循环通道的设计原则。

为防止活性污泥在膜表面沉积，保持膜组器内部良好的水流循环非常重要。对于浸没式 MBR 膜组器，其内部的水流循环靠膜组器底部的膜吹扫曝气装置所提供，膜间流速取决于膜吹扫强度和膜片（丝或管）间距；对于外置式 MBR 膜组器，其内部水流循环由混合液循环泵提供，膜间流速取决于混合液的循环流速。

#### 6.6.7 规定浸没式 MBR 膜组器吹扫曝气系统的设计原则。

#### 6.6.8 规定膜组器使用的钢材的选择原则。

#### 6.6.9 规定膜组器使用的零部件材料、焊接材料以及粘接材料的技术要求。

### 6.7 膜池布置

#### 6.7.1 规定膜池的设计原则。

#### 6.7.2 规定膜池进水口、溢流口以及排泥管的设计原则。

#### 6.7.3 规定膜池廊道的设计原则。

#### 6.7.4 规定膜池备用膜组器空位数的设计原则。

#### 6.7.5 规定膜池廊道产水系统、进水系统和曝气系统的设计原则。

#### 6.7.6 规定膜池廊道膜组器产水量差值。

#### 6.7.7 规定膜池廊道膜组器的平面布置原则。

#### 6.7.8 规定膜池廊道膜组器的纵断面布置原则。

#### 6.7.9 规定膜池设置于室内的条件。

#### 6.7.10 规定膜组器吊装装置的设置原则。

膜池顶部空间高度应大于膜组器的净起吊高度。膜组器的净起吊高度包括四部分：起重葫芦钢丝绳绕紧状态下的长度、膜组器的高度（含吊架）、膜组器吊运越过的固定物顶部高度（从膜池顶部标高算起）以及吊运安全距离（一般不小于 0.5 m）。

起重机起升高度应不小于膜组器的净起吊高度与膜池高度之和。

## 6.8 膜吹扫系统

6.8.1 规定膜吹扫系统的组成。

6.8.2 规定膜组器曝气量的确定原则和数据范围。

中空纤维膜组器生产厂家主要有美国 GE、日本三丽阳菱、中国北京碧水源、中国膜天膜等，平板膜组器生产厂家主要有日本久保田、中国 SINAP 等。对国内几家典型的城镇污水 MBR 工程中中空纤维膜组器和平板膜组器的曝气量的取值范围进行了调查，根据调查结果制定本条。

6.8.3 规定膜池曝气方式和设备的选择与设计原则。

6.8.4 规定膜池曝气设备的类型。

MBR 曝气方式包括 3 种：大气泡曝气、微气泡曝气和射流曝气，其中射流曝气应用较少。微气泡曝气系统通常用于生物曝气以强化氧的传递，而大气泡曝气系统常用于膜吹扫。大气泡曝气可以提高湍流程度，产生较大的剪切力，有利于防止污泥在膜表面沉积。

6.8.5 规定膜吹扫鼓风机的选择与设计原则。

6.8.6 规定膜吹扫空气管路的组成和设置原则。

6.8.7 规定供气干管的设计原则。

6.8.8 规定阀门等设备的设置要求。

## 6.9 膜产水及产水辅助系统

### I 膜产水系统

6.9.1 规定膜产水系统的组成及运行模式。

6.9.2 规定不同规模 and 不同构型 MBR 工程的运行方式。

6.9.3 规定集水管路的设计原则。

6.9.4 规定产生泵流量的计算公式。

6.9.5 规定不同规模 MBR 工程的膜产水泵设计原则。MBR 工程的规模界定，参照条文 6.1.3。

6.9.6 规定浸没式 MBR 工程中膜产水泵的运行方式。

对于浸没式 MBR 工程，膜产水泵采用恒通量模式间歇运行，宜采用变频控制产水量相对恒定。

6.9.7 规定膜池廊道产水泵的设置原则。

## II 膜产水辅助系统

6.9.8 规定膜产水辅助系统的组成。

6.9.9 规定真空泵的选择原则。

6.9.10 关于真空泵类型的规定。

6.9.11 关于压缩空气系统的规定。

## 6.10 膜化学清洗系统

6.10.1 规定膜化学清洗系统的方式。

6.10.2 规定膜在线化学清洗系统的组成。

6.10.3 规定膜离线化学清洗系统的组成。

6.10.4 规定膜清洗药剂的种类。

6.10.5 规定膜清洗药剂的管路要求。

## 7 膜污染控制与膜更换

### 7.1 膜污染控制一般方法

#### 7.1.1 规定 MBR 工程中膜污染的一般控制方法。

在 MBR 工程运行中不可避免地会发生膜污染。膜污染是指混合液中的污泥絮体、胶体粒子、溶解性有机物或无机盐类，由于与膜存在物理化学相互作用或机械作用而引起的在膜面上的吸附与沉积，或在膜孔内吸附造成膜孔径变小或堵塞，使水通过膜的阻力增加，过滤性下降，从而使膜通量下降或跨膜压差升高的现象。有效控制膜污染对于 MBR 工程的稳定运行至关重要。

按污染物的形态、清洗可恢复性、污染物质的性质等，膜污染有不同的分类方法：

(1) 按污染物的形态，分为膜孔堵塞、膜表面凝胶层、滤饼层以及漂浮物缠绕污染等。膜孔堵塞污染主要由混合液中的小分子有机物和无机物质由于吸附等所引起；膜表面凝胶层污染主要由混合液中的大分子有机物质由于吸附或截留沉积在膜表面所引起；泥饼层污染主要由颗粒物质在凝胶层上的沉积所引起；漂浮物污染主要由污水中的纤维状物质，如头发、纸屑等被膜丝缠绕所造成。

(2) 按污染的清洗可恢复性，分为可逆污染（或称为暂时污染）、不可逆污染（或称为长期污染）、不可恢复污染（或称为永久污染）。可逆污染是指通过物理清洗可以去除的污染，一般指膜面沉积的泥饼层，通过强化曝气或水反冲洗等物理手段可以被去除；不可逆污染是相对于可逆污染而言，指物理清洗手段不能有效去除的、需要通过化学药剂清洗才能去除的污染，一般指膜面凝胶层和膜孔堵塞污染；不可恢复污染是指用任何清洗手段都无法去除的污染，直接影响膜的寿命。

(3) 按污染物的性质，从物质大小分，有溶解性（小分子、大分子）、胶体、颗粒物、漂浮物等；从成分分，有无机物（金属、非金属）、有机物（如多糖、蛋白、腐殖酸）等；从来源分，有随原污水带入的未降解物质（如

油类、难降解有机物等)、微生物代谢产物等。

膜污染的控制方法是综合性的,包括:

(1) 优化膜系统操作条件:优化膜通量、膜曝气量和曝气方式、运行模式等,减轻污染物在膜表面的附着或在膜孔的堵塞。

(2) 调控混合液性质:通过控制合理的生物工艺条件(如污泥龄、污泥浓度、污泥负荷等)、投加调控剂(如投加混凝剂、氧化剂以及其它调控剂等)等,改善混合液的膜过滤性。

(3) 膜清洗:定期实施膜清洗,包括物理清洗和化学清洗,及时清除膜表面的污染物,维持膜系统稳定运行。

7.1.2 关于在 MBR 工程运行中通常采用的膜污染控制方法。

7.1.3 关于膜清洗的方式。

膜清洗分为物理清洗和化学清洗。物理清洗主要包括膜吹扫、水反冲洗等;化学清洗,根据实施方式,主要分为在线化学清洗和离线化学清洗。

曝吹扫主要是通过膜组器底部设置曝气系统,对膜表面形成吹扫,减轻颗粒状污染物在膜表面的沉积;水反冲洗是利用反洗泵将清水沿过滤的反方向注入膜组件,去除或松动附着在膜表面的污泥滤饼,降低膜过滤阻力。

在线化学清洗是利用在线清洗泵将药液注入膜组件内,对膜孔内和膜表面的污染物质进行清除。详见 7.3.1~7.3.5 条文说明。

离线化学清洗是将膜组器从膜池中取出,浸泡在装有化学药剂的清洗池中,或将膜池中的活性污泥抽空,直接将化学药剂注入膜池,对膜组器进行浸泡,去除膜孔内和膜表面的污染物质。详见 7.4.1~7.4.4 条文说明。

## 7.2 混合液调控

7.2.1 规定混合液调控的适用情景。

活性污泥混合液成份复杂,除污泥絮体外,还含有溶解性微生物代谢产物(Soluble microbial products, SMPs)。当膜池中的活性污泥浓度过高(尤其是大于 15g/L)时,会引起污泥混合液粘度急剧升高,膜污染严重。由于膜的高效截留分离作用,大分子的溶解性微生物代谢产物会被膜截留在膜池

混合液上清液中，当浓度累积过高时，也会使混合液膜过滤性恶化，造成严重的膜污染。

### 7.2.2 规定膜池污泥浓度过高时混合液调控的具体方法。

膜池中的 MLSS 浓度 ( $X_M$ , g/L) 可由下式估算：

$$X_M = (1 + \frac{1}{R_3}) \cdot X$$

其中  $X$  为生物单元好氧区（池）的 MLSS (g/L)， $R_3$  为膜池污泥回流比。增大膜池回流比，可以降低膜池污泥浓度。增加排泥量也可以降低膜池污泥浓度。根据实际工程运行经验，膜池污泥浓度宜小于 15g/L，对于平板膜 MBR 膜池污泥浓度可适当提高。

### 7.2.3 规定膜池溶解性微生物代谢产物浓度过高等原因导致混合液膜过滤恶化时混合液调控的具体方法。

溶解性微生物代谢产物包括多糖、蛋白质、腐殖酸等。根据清华大学对我国 10 个处理城镇污水的 MBR 工程的调研，膜池溶解性微生物代谢产物的 TOC 浓度一般分布在 10—30mg/L 之间，造成膜污染的主要成份是多糖、蛋白质等物质。在冬季，由于溶解性微生物代谢产物的分解速率降低，膜池上清液的 TOC、多糖、蛋白质浓度等随温度降低有增加，导致膜过滤性恶化。因此，对溶解性微生物代谢产物浓度的调控在冬季尤其需要关注。

混合液膜过滤性也可以在现场采用简易的滤纸过滤性测定装置进行快速监测评价（图 2）。

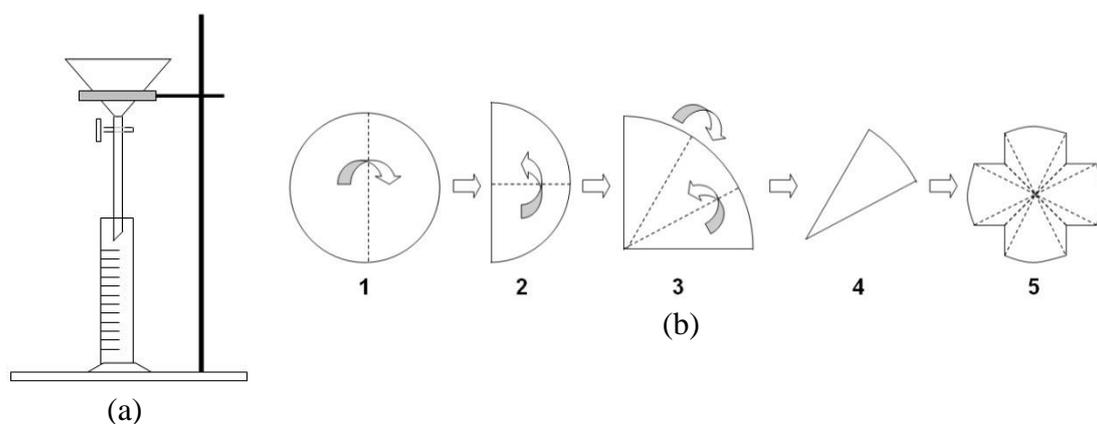


图 2 混合液滤纸过滤性测定 (a.装置；b.滤纸折法)

取 100ml 混合液样品置入图 2 所示的测定装置，读取 3 分钟时滤过液

的体积数（以 ml 记），即表征为该混合液的滤纸过滤性。

清华大学采用该方法对实际 MBR 工程混合液膜过滤性进行监测，发现与实际膜污染程度存在较好的相关性（图 3）。当滤过液体积数大于 25~30ml 后，膜污染程度严重。

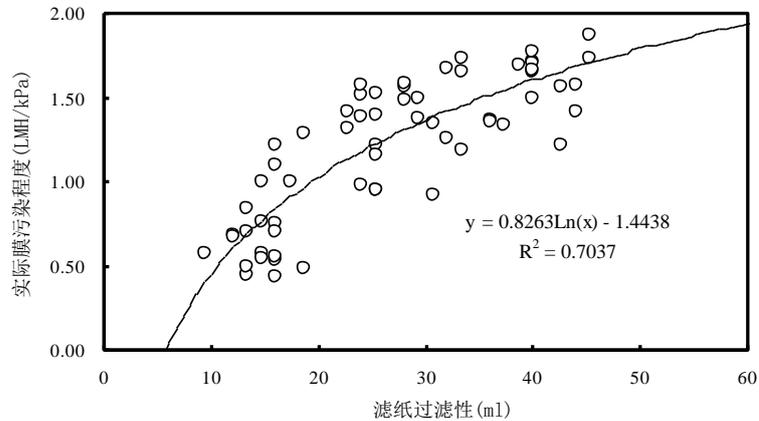


图 3 混合液滤纸过滤性与实际膜污染程度相关关系

投加调控剂可以通过混凝或吸附作用，降低膜池中溶解性微生物代谢产物浓度。针对需调控的溶解性微生物代谢产物浓度，目前尚未有明确的规定。根据上述调研和研究，建议以膜池上清液 TOC 浓度 30mg/L 或滤纸过滤液体积 25~30ml 作为预警调控的参考值。

#### 7.2.4 规定混合液调控剂的种类。

混合液调控剂包括混凝剂、吸附剂等。混凝剂有氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铁、聚合硫酸铝、高分子混凝剂等，主要是通过混凝作用来降低混合液中溶解性微生物代谢产物浓度；吸附剂有粉末活性炭等，主要是通过吸附作用来降低混合液中溶解性微生物代谢产物浓度。投加混凝剂或吸附剂还可以同时改善污泥絮体的结构，从而提高混合液膜过滤性，减轻膜污染。

#### 7.2.5 关于混合液调控和化学除磷联合进行的规定。

用于混合液调控的无机混凝剂，如氯化铁、硫酸铝、聚合氯化铁、聚合硫酸铝等，同时具有化学除磷的功能，因此，混合液调控和化学除磷可以联合进行。

### 7.3 膜的在线化学清洗

#### 7.3.1 规定膜在线化学清洗的方式。

膜在线化学清洗是将化学清洗药剂从与出水管连接的化学清洗口注入膜组件内，对膜孔内和膜表面的污染物质进行清除。MBR 膜供应商都有各自的在线化学清洗方法，其主要差别在于清洗剂浓度和清洗方式的不同，但基本上可分为维护性化学清洗和强化化学清洗两种模式。

维护性化学清洗使用的化学药剂浓度相对较低，主要是用于维持膜通量，降低强化化学清洗和离线化学清洗的频率；强化化学清洗使用的化学药剂浓度相对较高，主要是用于清除在维护性清洗中未能去除的污染物质，降低离线化学清洗的频率。

7.3.2 关于常用化学清洗药剂种类的规定。

7.3.3 关于在线化学清洗药剂、浓度等的规定。

7.3.4 规定中空纤维膜组器的在线化学清洗模式。

在 MBR 工程应用中，常见的中空纤维膜组器供应商有 GE、日本三菱丽阳、北京碧水源、天津膜天膜等，在维持性化学清洗和强化化学清洗中，基本上都采用类似的清洗方式。参考这些厂家的操作指南，规定此条。

7.3.5 规定平板膜组器的在线化学清洗模式。

在 MBR 工程应用中，常见的平板膜组器供应商有日本久保田、中国 SINAP 等。根据实际调查，部分厂家的平板膜组器可以不实施维护性化学清洗，只实施强化化学清洗。参考这些厂家的操作指南，规定此条。

7.3.6 关于实施在线化学酸洗的规定。

根据调查，在我国不少城镇污水 MBR 处理工程，由于进水中工业废水的混入和化学除磷药剂的投加，造成无机成份对膜污染有较大贡献。如果只实施碱洗，只能去除有机污染物，而不能有效去除无机污染物。因此，在污水中的无机成分较多时，在维护性化学清洗和强化化学清洗中，应同时考虑结合使用柠檬酸或草酸进行酸洗，以有效清除无机污染物质。

7.3.7 关于在线碱洗、酸洗操作的规定。

在线碱洗、酸洗不可连续交替进行，以避免酸、碱药剂在管道内直接接触。

7.3.8 规定冬季在线化学清洗的强化方法。

根据 MBR 实际工程的运行情况，在冬季由于水温低，膜污染较其它季

节更为严重，但膜清洗效果却不及其它季节。提高冬季的膜污染清洗效果对于维持膜系统稳定运行十分重要。通过提高膜清洗的频率、药液浓度、清洗时间、清洗液的温度等，可以提高膜清洗效果。

## 7.4 膜的离线化学清洗

### 7.4.1 规定膜离线化学清洗的实施周期。

膜离线化学清洗是将膜组器从膜池中取出，浸泡在装有化学药剂的清洗池中，或将膜池中的活性污泥抽空，直接将化学药剂注入膜池，对膜组器进行浸泡，去除膜孔内和膜表面的污染物质。主要是用于清除在线化学清洗未能去除的长期污染物质。

### 7.4.2 规定膜离线化学清洗实施的场所。

膜离线化学清洗可以在专门设置的化学清洗池中进行，也可以在原膜池内实施。在专门设置的化学清洗池中实施膜离线清洗时，需要设置专门的化学清洗池、吊装装置等，并需要将膜组器从膜池吊出，置入清洗池中进行清洗，操作比较复杂，但清洗比较彻底。在原膜池中实施膜离线清洗，不用设置专门的化学清洗池、吊装装置等，不需要将膜组器从膜池吊出，操作相对简单，但由于需要把膜池中的活性污泥输送到其它廊道的曝气池中，会对这些曝气池的运行造成一定的影响，同时，残留在膜池中的污泥还会消耗化学清洗药剂，降低膜清洗效果。因此，在原膜池中的膜离线化学清洗的效果不及在专门的清洗池中的清洗效果。

### 7.4.3 规定膜组器实施离线化学清洗前的准备工作。

### 7.4.4 关于离线化学清洗使用的化学药剂及浓度的规定。

根据实际调查，在 MBR 工程应用中，主要膜组器供应商均推荐类似的离线化学清洗方案。化学清洗的合理使用对维持膜系统的稳定运行至关重要。有关化学清洗的最佳方案还需要在工程实践中针对实际污水的性质不断完善。

### 7.4.5 关于离线化学清洗步骤的规定。

### 7.4.6 关于离线化学清洗中酸洗、碱液浸泡时间等的规定。

7.4.7 关于清洗池药剂浓度及时补充的规定。

## 7.5 清洗废液的处理与处置

7.5.1 规定膜离线化学清洗废液收集与处理的原则。

7.5.2 规定膜在线化学清洗废液处理的原则。

## 7.6 膜更换

7.6.1 规定膜更换的判断标准。

7.6.2 规定膜更换的实施部门。

7.6.3 关于保持同一膜池内膜组器状态一致的规定。

7.6.4 关于新膜调试和验收的规定。

## 8 后处理设施及其它

### 8.1 辅助化学除磷

#### 8.1.1 规定化学除磷的设计及选择原则。

污水经二级处理后，其出水总磷不能达到要求时，可采用辅助化学除磷。化学除磷的方案、设计和选择应符合《室外排水设计规范》GB 50014 的有关规定。

#### 8.1.2 规定化学除磷药剂的种类。

化学除磷是通过投加多价金属离子盐，产生微溶磷酸盐沉淀完成的。投加的药剂可采用铝盐、铁盐等。

#### 8.1.3 关于 MBR 工程中化学除磷药剂投加点的规定。

#### 8.1.4 关于 MBR 工程中化学除磷药剂投加量的规定。

按照《室外排水设计规》GB 50014 规定，对于传统处理工艺，当采用铝盐或铁盐作混凝剂时，其投加混凝剂与污水中总磷的摩尔比宜为 1.5~3。在 MBR 工程中，由于膜能完全截留颗粒物及部分截留胶体，与传统处理工艺相比，对混凝形成的矾花尺寸和形态等性质要求较低，达到除磷目标所需混凝剂投加量也较少。结合实际工程调研情况，投加的混凝剂与污水中去除总磷量的摩尔比可取为 1.5~2.5。

### 8.2 消毒

#### 8.2.1 规定消毒的设计原则。

城镇污水处理应设置消毒设施。消毒设施和有关建筑物的设计，应符合现行国家标准《室外给水设计规范》GB 50013 和《室外排水设计规范》GB 50014 的有关规定。

污水消毒程度应根据污水性质、排放标准或再生水要求确定。

#### 8.2.2 规定消毒方式及其选择的原则。

在 MBR 工程中，由于膜能完全截留悬浮物并部分截留胶体，膜出水中的细菌等微生物的含量与传统处理工艺出水相比大幅度降低，因此，消毒剂

剂量明显降低。

### 8.2.3 关于紫外线消毒剂量的规定。

MBR 工程中的紫外线消毒剂量宜根据试验资料或类似运行经验确定。根据清华大学对 MBR 实际工程膜出水的消毒试验结果和实际调研资料，按传统工艺中推荐剂量的 60%考虑。根据《室外排水设计规范》GB 50014，紫外线消毒剂量针对二级处理出水时为 15~22mJ/cm<sup>2</sup>，针对再生水时为 24~30mJ/cm<sup>2</sup>。据此，规定 MBR 工程中，出水排放时，推荐紫外线剂量 9~13 mJ/cm<sup>2</sup>；用作再生水时，推荐剂量 14~18 mJ/cm<sup>2</sup>。

### 8.2.4 关于臭氧消毒的规定。

MBR 工程中的臭氧剂量宜根据试验资料或类似运行经验确定。根据 MBR 实际工程运行情况，当臭氧剂量为 3~5 mg/L 时，即可保障出水大肠杆菌指标达标。

### 8.2.5 关于氯消毒的规定。

MBR 工程中的氯消毒剂量宜根据试验资料或类似运行经验确定。根据《室外排水设计规范》GB 50014，二级处理出水的氯消毒剂量为 6~15mg/L。对于 MBR 工程出水的氯消毒剂量按传统工艺剂量的 60%考虑，为 3~9mg/L。当用作再生水时，在管网输配中，应保障余氯含量。有关规定参照 GB/T 18920、GB/T 18921。

## 8.3 剩余污泥处理与处置

8.3.1 规定 MBR 工程中剩余污泥的排出地点。

8.3.2 规定 MBR 工程中剩余污泥处理与处置的原则。

8.3.3 规定 MBR 工程中剩余污泥的浓缩方式。

## 9 检测与控制

### 9.1 一般规定

- 9.1.1 关于 MBR 工程自动控制的规定。
- 9.1.2 关于 MBR 工程检测和控制内容的确定原则。
- 9.1.3 关于仪表的选择和确定原则。
- 9.1.4 规定控制或监测设备的信号类型。
- 9.1.5 关于 MBR 工程过程控制系统功能的规定。
- 9.1.6 关于 MBR 工程过程控制系统的设置原则。
- 9.1.7 关于控制系统模块化结构的选择与设置原则。
- 9.1.8 关于控制站点和控制网络的设置原则。

### 9.2 检测

- 9.2.1 关于 MBR 工程机电设备的设置原则。
- 9.2.2 关于设置 MBR 工程进出水在线检测仪表的规定。
- 9.2.3 关于设置 MBR 工程各处理单元检测仪表的规定。
- 9.2.4 规定膜池检测仪表的设置种类和要求。
- 9.2.5 关于室外安装仪表的规定。

### 9.3 控制

- 9.3.1 关于 MBR 工程自动控制系统的设置原则。
- 9.3.2 关于不同规模 MBR 工程自动控制系统结构的设置要求。
- 9.3.3 关于 MBR 工程自控控制系统中设备层、控制层以及管理层的设置要求。
- 9.3.4 关于 MBR 工程现场控制站的设置规定。
- 9.3.5 关于 MBR 工程自动控制系统中设置不间断电源的规定。
- 9.3.6 关于 MBR 工程 PLC 控制站的设置规定。

## 9.4 计算机控制管理系统

- 9.4.1 规定 MBR 工程计算机控制管理系统的功能。
- 9.4.2 规定 MBR 工程计算机控制管理系统的设计内容。
- 9.4.3 关于 MBR 工程计算机控制管理系统硬件配置的规定。
- 9.4.4 关于 MBR 工程计算机控制管理系统软件设计的规定。
- 9.4.5 关于 MBR 工程网络形式的规定。