



T/CECS 20××—2021

中国工程建设标准化协会标准

反应沉淀一体式环流生物反应器 (RPIR) 技术规程

Technical Specifications for Reaction and Precipitation
Integrated Airlift Loop Bio-Reactor

(征求意见稿)

前 言

根据中国工程建设标准化协会“关于印发《2020 年第二批协会标准制订、修订计划》的通知（建标协字 [2020] 23 号）”的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关技术的相关资料，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、工艺设计、RPIR 模块及系统、检测与控制、施工调试与验收、运行与维护。

本规程的某些内容涉及专利。涉及专利的具体技术内容，使用者可直接与本规程主编单位协商处理，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由中国市政工程中南设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：武汉市江岸区解放公园路 8 号，邮编：430010）。

本规程主编单位：中国市政工程中南设计研究总院有限公司
清研环境科技股份有限公司

本规程参编单位：深圳清华大学研究院
同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司
深圳市水务（集团）有限公司
中电建生态环境集团公司
江西洪城水业股份有限公司

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 录

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	3
3 基本规定.....	5
4 工艺设计.....	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 工艺流程选择.....	6
4.3 工艺参数.....	8
4.4 容积及回流比.....	9
4.5 剩余污泥产量.....	14
4.6 曝气系统与设备.....	15
4.7 配水及回流.....	15
5 RPIR 模块及系统.....	17
5.1 一般规定.....	17
5.2 RPIR 模块.....	18
5.3 选配系统.....	20
6 检测与控制.....	22
6.1 一般规定.....	22
6.2 检 测.....	22
6.3 控 制.....	22
7 施工、调试与验收.....	24
7.1 一般规定.....	24
7.2 施 工.....	24
7.3 调 试.....	24
7.4 验 收.....	25
8 运行与维护.....	26
8.1 一般规定.....	26

8.2 运 行.....	26
8.3 维 护.....	27
本规程用词说明.....	28
引用标准名录.....	29

Contents

1 General provisions.....	1
2 Terms and symbols.....	2
2.1 Terms.....	2
2.2 Symbols.....	3
3 Basic provisions.....	5
4 Technological design.....	6
4.1 General provisions.....	6
4.2 Process selection.....	6
4.3 Process parameters.....	8
4.4 Volume and reflux ratio.....	9
4.5 Excess sludge production.....	14
4.6 Aeration system and equipment.....	15
4.7 Water distribution and reflux.....	15
5 Rpir module and system.....	17
5.1 General provisions.....	17
5.2 Rpir module.....	18
5.3 Optional system.....	20
6 Detection and control.....	22
6.1 General provisions.....	22
6.2 Detection.....	22
6.3 Control.....	22
7 Construction, commissioning and acceptance.....	24
7.1 General provisions.....	24
7.2 Construction.....	24
7.3 Commissioning.....	24
7.4 Acceptance.....	25
8 Operation and maintenance.....	26
8.1 General provisions.....	26

8.2 Operation.....	26
8.3 Maintenance.....	27
Explanation of Wording in this Specification.....	28
Lists of Quoted Standards.....	29

1 总 则

1.0.1 为规范反应沉淀一体式环流生物反应器（RPIR）的建设和运行管理，制定本规程。

【条文说明】本条说明本规程的编制目的。

反应沉淀一体式环流生物反应器是污水处理系统中的一个重要设施。为了做到设施安全、经济、高效运行，保证污水处理效果，特制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用反应沉淀一体式环流生物反应器（RPIR）的新建、扩建和改建污水处理工程的设计、施工、调试、验收和维护。

【条文说明】本条说明本规程的适用范围。

1.0.3 反应沉淀一体式环流生物反应器（RPIR）的建设和运行维护除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】本条规定本规程与现行国家标准的关系。

尚应符合的有关规范和标准：《室外排水设计标准》GB 50014、《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918、《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法处理工程技术规范》HJ 576 、《城镇污水处理厂运行维护及安全技术规程》CJJ 60 等。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 反应沉淀一体式环流生物反应器 Reaction and Precipitation Integrated Rectangular Airlift Loop Bio-Reactor

一种应用在污水处理系统中通过采用耦合气升环流技术与沉淀分离技术的生物处理设施，可实现高传质效率、高污泥浓度、污泥无动力内回流，高效降解污染物，简称 RPIR。

2.1.3 RPIR 模块 RPIR module

是实现 RPIR 功能的核心设备。

2.1.4 RPIR 池 RPIR tank

安装了 RPIR 模块的好氧生物反应池，主要功能是通过好氧生化反应降解污染物，并通过 RPIR 模块的泥水分离功能实现活性污泥的截留和清水排出。

2.1.5 水力表面负荷 hydraulic surface loading

RPIR 沉淀区的单位投影面积单位时间内通过的污水体积数，单位为 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

2.1.6 RPIR 模块通量 RPIR module flux

单台 RPIR 模块单位时间通过的水量，单位为 m^3/d 。

2.1.7 S-RPIR 工艺 S-RPIR process

单独采用 RPIR 的工艺流程，以去除 BOD、氨氮为主。

2.1.8 A/RPIR 工艺 A / RPIR process

缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器工艺，除具备 S-RPIR 工艺的功能外，还兼顾脱总氮功能。

2.1.9 A²/RPIR 工艺 A²/RPIR process

厌氧/缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器工艺，在 A/RPIR 工艺的功能基础上增设了生物除磷功能。

2.2 符 号

2.2.1 流量、流速

P_X ——剩余污泥含磷量, mg/L;

Q ——污水设计流量, m^3/d ;

Q_a ——单个 RPIR 模块通量, m^3/d ;

Q_{nR} ——硝化液回流量, m^3/d ;

Q_{pR} ——混合液回流量, m^3/d ;

Q_W ——剩余污泥排放量, m^3/d ;

ΔX_v ——排出生物池系统的微生物量, kg-MLVSS/d;

ΔX ——剩余污泥量, kg-SS/d;

2.2.2 浓度

N_k ——生物反应池进水总凯氏氮浓度, mg/L;

N_{te} ——生物反应池出水总氮浓度, mg/L;

N_a ——生物反应池中氨氮浓度, mg/L;

P_θ ——生物反应池进水总磷浓度, mg/L;

S_o ——生物反应池进水 BOD_5 浓度, mg/L;

S_e ——生物反应池出水 BOD_5 浓度, mg/L;

SS_o ——生物反应池进水悬浮物浓度, mg/L,

SS_e ——生物反应池出水悬浮物浓度, mg/L;

X_o ——RRIR 池的好氧区混合液悬浮固体浓度, kg-MLSS/L;

X_v ——生物反应池内混合液挥发性悬浮固体 (MLVSS) 平均浓度, kg-MLVSS/d;

X_m ——剩余污泥排放点的混合液悬浮固体浓度, g-MLSS/L;

2.2.3 容积、时间、数量

N ——RPIR 池模块数量, 台;

θ_c ——设计污泥泥龄, d;

t_p ——厌氧池水力停留时间, h;

V_R ——RPIR 池容积, m^3 ;

V_o ——RRIR 池的好氧区容积, m^3 ;

V_{Rl} ——RPIR 池的固液分离区容积, m^3 ;

V_n ——缺氧池容积, m^3 ;

V_p ——厌氧池容积, m^3 ;

V_t ——生物反应池总容积, m^3 。

2.2.4 速率、比值、常数

F ——安全系数;

$K_{de(T)}$ —— $T^\circ\text{C}$ 时的脱氮速率, $\text{kg-NO}_3\text{-N}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$;

$K_{de(20)}$ —— 20°C 时的脱氮速率, $\text{kg-NO}_3\text{-N}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$;

k_d ——衰减系数, d^{-1} ;

K_N ——硝化作用中氮的半速率常数;

L_s ——生物反应池 BOD 污泥负荷, $\text{kg-BOD}_5/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$;

R ——硝化液回流比, %;

R_i ——由缺氧池向厌氧池回流混合液时的混合液回流比, %;

y ——单位体积混合液中 MLVSS 占 MLSS 的比例, %;

Y ——污泥产率系数, $\text{kg-VSS}/\text{kg-BOD}_5$;

Y_t ——污泥总产率系数, $\text{kg-MLSS}/\text{kg-BOD}_5$;

η_p ——生物过程对磷的去除率, %;

μ ——硝化细菌比生长速率, d^{-1} ;

3 基本规定

3.0.1 反应沉淀一体式环流生物反应器（以下简称 RPIR）适用于生活污水处理工程中的二级生物处理。当用于处理工业废水时，进水水质应具有良好的可生化性，且水中不应含有对微生物具有抑制和毒害作用的污染物。

【条文说明】本条规定了 RPIR 的适用范围。

RPIR 的处理对象是可生化性的污水，BOD/COD 宜大于 0.3。用于处理工业废水时，应充分考虑废水的可生化性，污水中也不应存在对微生物具有抑制和毒害作用的物质。

3.0.2 RPIR 主体应包括池体、RPIR 模块、配水系统、曝气系统、硝化液回流系统、出水系统、剩余污泥排放系统及设备。

【条文说明】本条规定了 RPIR 的组成。

4 工艺设计

4.1 一般规定

4.1.1 RPIR 工艺设计应包括工艺流程选择、工艺参数、容积及回流比、剩余污量、曝气系统与设备、配水、出水及回流的设计。

【条文说明】本条规定了 RPIR 的工艺设计内容。

4.1.2 污水处理工艺流程的选择应根据国家现行有关排放标准、污染物的来源及性质和处理目标确定，也可参照类似污水厂的经验或试验确定。

【条文说明】本条规定了污水处理工艺选择的总体原则。

4.1.3 当进水碳源或碱度缺乏时，应增设碳源或碱度投加设施。

【条文说明】本条规定了进水水质的碳源和碱度要求。

当污水水处理有脱总氮要求时，反硝化要求进水的易降解碳源 BOD/总凯氏氮比值应大于 4.0，总碱度（以碳酸钙 CaCO_3 计）/氨氮（ $\text{NH}_3\text{-H}$ ）的比值宜不小于 3.6，不满足上述条件时，应合理补充碳源或碱度。当污水处理有除氨氮要求时，进水中碱度（以碳酸钙 CaCO_3 计）/氨氮（ $\text{NH}_3\text{-H}$ ）的比值宜不小于 7.14，且 RPIR 池剩余碱度宜大于 70 mg/L，不满足上述条件时需及时补充碱度。

4.1.4 当生物除磷效果不能满足排放标准要求时，应在 RPIR 池进水端投加化学除磷药剂或在 RPIR 出水端增设其他化学除磷设施。

【条文说明】当生物除磷不能满足出水标准时，可在生化处理工艺段投加除磷剂。RPIR 池的进水口可作为化学除磷加药点。

4.2 工艺流程选择

4.2.1 污水处理工艺流程可采用 S-RPIR 工艺或 A/RPIR 工艺或 A^2 /RPIR 工艺，也可通过试验确定。

【条文说明】本条规定污水处理 RPIR 工艺的类型。

根据项目脱氮除磷要求的不同，可选择 S-RPIR、A/RPIR、 A^2 /RPIR 等作为主体生化处理工艺，同时末端增加混凝沉淀及过滤工艺作为深度处理工艺。

4.2.2 当主要去除碳源污染物和氨氮时，宜采用单纯反应沉淀一体式环流生物反

应器（S-RPIR）工艺。

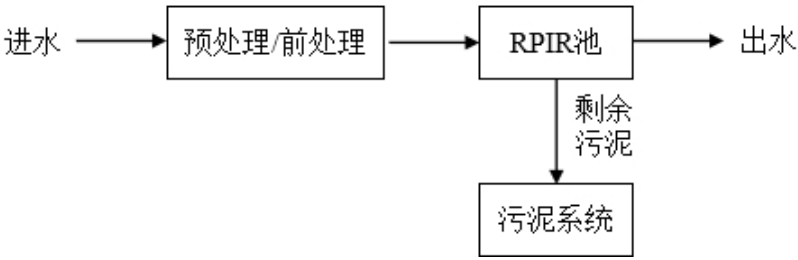


图 4.2.2 S-RPIR 工艺流程图

【条文说明】本条规定 S-RPIR 工艺的适用条件。

4.2.3 当要求去除碳源污染物并兼顾脱氮功能时，宜采用缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A/RPIR）工艺。

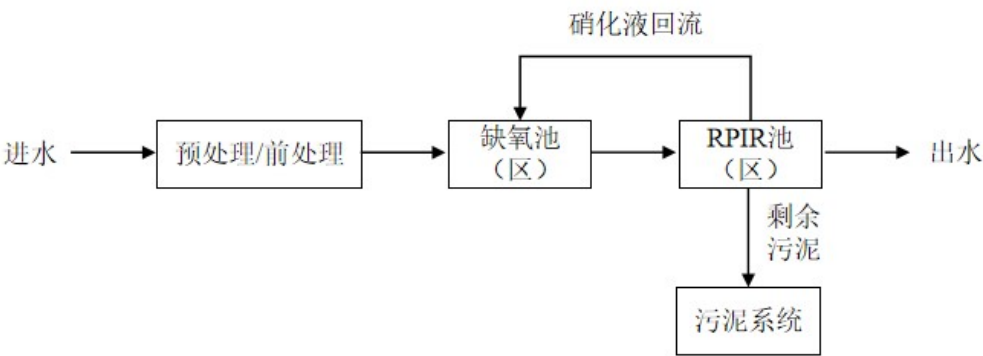


图 4.2.3 A/RPIR 工艺流程图

【条文说明】本条规定 A/RPIR 工艺的适用条件。

当要求去除碳源污染物并兼顾脱氮功能时，宜前置缺氧池，并均匀收集硝化液至缺氧池，即采用缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A/RPIR）工艺。

4.2.4 当要求去除碳源污染物并兼顾脱氮和生物除磷功能时，宜采用厌氧/缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A²/RPIR）工艺。

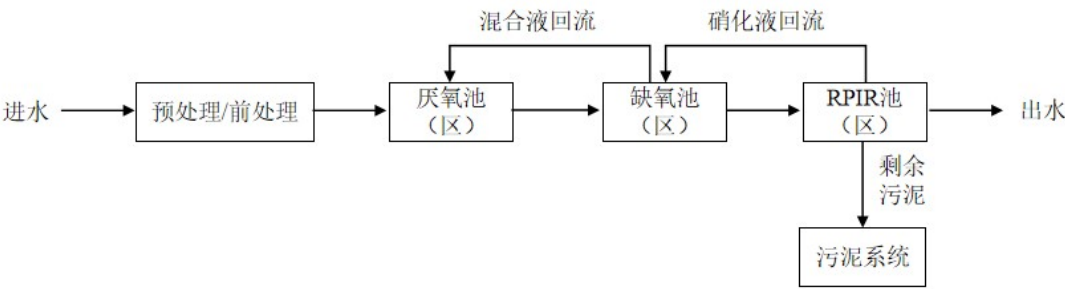


图 4.2.4 A²/RPIR 工艺流程图

【条文说明】本条规定 A²/RPIR 工艺的适用条件。

当要求去除碳源污染物并兼顾脱氮除磷功能时，宜前置厌氧池及缺氧池，即采用厌氧/缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A²/RPIR）工艺。厌氧池污泥来自缺氧池，该部分污泥混合液经过充分的反硝化作用，硝酸盐浓度较低，回流至厌氧池后，更有利于聚磷菌的释磷。

4.2.5 RPIR 工艺的预处理与一级处理设施应包括格栅、沉砂池。当进水悬浮物浓度较高时，宜设置初沉池。格栅、沉砂池、隔油池和初沉池的设计和选择应符合《室外排水设计标准》GB50014 等的规定。

【条文说明】本条规定 RPIR 工艺的预处理与一级处理设施。

粗格栅（16mm-25mm）及细格栅（1.5mm-10mm）的设置可去除水中较大的悬浮物、漂浮物、纤维物质及固体颗粒物。沉砂池可去除相对密度 2.65、粒径 0.2mm 以上的砂粒，以避免对后续处理构筑物 and 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现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014 的有关规定。

4.2.6 当对出水悬浮物、总磷有更高要求时，宜增加深度处理设施。

【条文说明】本条规定增设深度处理设施的适用条件。

RPIR 工艺的泥水分离原理为重力分离，与二沉池一致，出水悬浮物一般为 10~20 mg/L。对磷的去除依靠生物除磷，当设置厌氧池时，出水总磷浓度 0.5~1.0 mg/L。因此，当要求悬浮物小于 10 mg/L，总磷小于 0.5mg/L 甚至 0.3 mg/L 时，需增加深度处理设施，如高效沉淀池、V 型滤池、气浮池及滤布滤池等深度处理设施，对该两项指标进行保障。

4.2.7 当进水水质、水量波动较大时，宜设置调节设施。

【条文说明】本条规定调节设施的适用条件

水量变化过大时，生物处理效果难以得到保障。另外，RPIR 模块无易堵部件，可适应较大的水量变化（变化系数可达 2.0），出水悬浮物在高峰流量时会有所提高，同时生物处理效果需根据停留时间核算。

4.3 工艺参数

4.3.1 RPIR 工艺的主要设计参数，宜根据试验资料或参照类似污水厂的经验确定。

当无试验资料时，可采用类似工程的运行数据或按表 4.3.1 的规定取值。

表 4.3.1 RPIR 工艺常用参数取值范围

项目	单位	参数值
污泥负荷 L_s	$\text{kg-BOD}_5/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$	0.05-0.15
RPIR 池混合液悬浮固体平均浓度 X_o	kg-MLSS/L	4.0-6.0
反应池混合液挥发性悬浮固体平均浓度 X_v	kg-MLVSS/L	2.8-4.2
硝化液回流比 R	%	200-400
混合液回流比（缺氧至厌氧） R_i	%	100-300
污泥泥龄 θ_c	d	10-25
污泥总产率系数 Y_t	kg-MLSS/kg-BOD_5	有初沉池时 0.3-0.6，无初沉 池时 0.8-1.2
污泥产率系数 Y	kg-VSS/kg-BOD_5	0.3-0.8
衰减系数 K_d	d^{-1}	0.04-0.075
反硝化脱氮速率 K_{dn}	$\text{kg-NO}_3\text{-N}/$ $(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$	0.03-0.06
单个 RPIR 模块通量 Q_a	m^3	200-400
单个 RPIR 模块水力表面负荷 q_a	$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	0.83-1.67
污水在 RPIR 模块的固液分离时间 T_a	h	0.72-1.44

【条文说明】本条规定 RPIR 工艺的主要设计参数。

4.4 容积及回流比

I 除 碳

4.4.1 当采用单纯反应沉淀一体式环流生物反应器（S-RPIR）工艺时，好氧生物反应所需的容积可根据污泥负荷按下式计算：

$$V_R = V_O + V_{R1} = \frac{Q \cdot (S_o - S_e)}{1000 L_s \cdot X_o} + V_{R1} \quad (4.4.1)$$

式中：

V_R ——RPIR 池 容积， m^3 ；

V_O ——RPIR 池的好氧区容积， m^3 ；

V_{R1} ——RPIR 池的沉淀区容积， m^3 ；

Q ——污水设计流量， m^3/d ；

S_o ——生物反应池进水 BOD_5 浓度， mg/L ；

S_e ——生物反应池出水 BOD_5 浓度， mg/L ；

L_s ——生物反应池 BOD 污泥负荷， $kg-BOD_5/(kg-MLSS \cdot d)$ ；

X_o ——RPIR 池的好氧区混合液悬浮固定浓度， $g-MLSS/L$ 。

【条文说明】本条规定 RPIR 的计算公式。

对于 RPIR 池，RPIR 模块内仍然处于好氧状态，对有机物和氨氮有进一步降解作用，因此在设计计算中，不应扣除整个 RPIR 模块所占的容积，而应扣除其中沉淀部分的容积。

4.4.2 当单独采用反应沉淀一体式环流生物反应器（S-RPIR）工艺时，无需设置污泥回流。

【条文说明】本条规定硝化液回流的设置要求。

RPIR 集生化反应及沉淀分离一体，通过环流作用，污泥可通过 RPIR 模块内设置的回流缝回流至反应池，因此不需要再单独设置污泥回流。

4.4.3 RPIR 池的沉淀区容积按下式计算：

$$V_{R1} = 12N \quad (4.4.3)$$

式中：

V_{R1} ——RPIR 池的沉淀区容积， m^3 ；

N ——RPIR 池模块数量，台。

【条文说明】本条规定沉淀区的计算公式。

4.4.4 RPIR 模块数量按下式计算：

$$N = \frac{Q}{Q_a} \quad (4.4.4)$$

式中：

N ——RPIR 池模块数量，台；

Q ——污水设计流量， m^3/d ；

Q_a ——单个 RPIR 模块通量， m^3/d 。

【条文说明】本条 RPIR 模块数量的计算公式。

II 除碳/脱氮

4.4.5 当采用缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A/RPIR）工艺时，生物反应池的容积应根据硝化、反硝化动力学进行计算。

【条文说明】本条规定 A/RPIR 工艺中生物反应池容积的计算原则。

4.4.6 好氧生物反应所需的容积可按污泥负荷法和泥龄法计算，其中污泥负荷法参照 4.4.1 计算，泥龄法按下式计算：

$$V_R = V_O + V_{R1} = \frac{Q \cdot (S_o - S_e) \theta_{CO} Y_t}{1000 X_O} + V_{R1} \quad (4.4.6-1)$$

$$\theta_{CO} = F \cdot \frac{1}{\mu} \quad (4.4.6-2)$$

$$\mu = 0.47 \frac{N_a}{K_n + N_a} e^{0.098(T-15)} \quad (4.4.6-3)$$

式中：

V_R ——RPIR 池容积， m^3 ；

V_O ——RRIR 池的好氧区容积， m^3 ；

V_{R1} ——RPIR 池的固液分离区容积， m^3 ；

Q ——污水设计流量， m^3/d ；

S_o ——生物反应池进水 BOD_5 浓度， mg/L ；

S_e ——生物反应池出水 BOD_5 浓度， mg/L ；

X_O ——RRIR 池的好氧区混合液悬浮固定浓度， g-MLSS/L ；

θ_{CO} ——RPIR 池设计污泥龄， 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，系统有初沉池时宜取 0.3~0.6，无初次沉淀池时宜取 0.8-1.2；

F ——安全系数，宜为 1.5~3.0；

μ ——硝化细菌比生长速率， d^{-1} ；

N_a ——生物反应池中氨氮浓度， mg/L ；

K_N ——硝化作用中氮的半速率常数，一般取 1.0；

T ——设计水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

【条文说明】本条规定好氧生物反应所需容积的计算公式。

4.4.7 缺氧池容积可按下列公式计算：

$$V_n = \frac{0.001Q \cdot (N_k - N_{te}) - 0.12\Delta X_v}{K_{de(T)} \frac{R}{1+R} X_o} \quad (4.4.7-1)$$

$$K_{de(T)} = K_{de(20)} 1.08^{(T-20)} \quad (4.4.7-2)$$

$$\Delta X_v = Y \frac{Q(S_0 - S_e)}{1000} \quad (4.4.7-3)$$

式中：

V_n ——缺氧池容积， m^3 ；

Q ——污水设计流量， m^3/d ；

N_k ——生物反应池进水总凯氏氮浓度， mg/L ；

N_{te} ——生物反应池出水总氮浓度， mg/L ；

ΔX_v ——排出生物池系统的微生物量， kg-MLVSS/d ；

$K_{de(T)}$ —— $T^{\circ}\text{C}$ 时的脱氮速率， $\text{kg-NO}_3\text{-N}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$ ，宜根据实验资料确定，无试验资料时按公式（4.4.3）计算；

X_o ——RRIR 池的好氧区混合液悬浮固定浓度， g-MLSS/L ， g-MLSS/L ；

R ——硝化液回流比，%，宜为 200%-400%；

$K_{de(20)}$ —— 20°C 时的脱氮速率， $\text{kg-NO}_3\text{-N}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$ ，宜取 0.03-0.06 $\text{kg-NO}_3\text{-N}/(\text{kg-MLSS}\cdot\text{d})$ ；

T ——设计水温， $^{\circ}\text{C}$ ；

Y ——污泥产率系数， kg-VSS/kg-BOD_5 ，宜根据试验资料确定，无试验资料时，宜取 0.3-0.6；

S_o ——生物反应池进水五日生化需氧量浓度，mg/L；

S_e ——生物反应池出水五日生化需氧量浓度，mg/L。

【条文说明】本条规定缺氧池容积的计算公式。

4.4.8 由 RPIR 池至缺氧池的硝化液回流量按下式计算：

$$Q_{nR} = QR \quad (4.4.8)$$

式中：

Q_{nR} ——硝化液回流量，m³/d；

Q ——污水设计流量，m³/d；

R ——硝化液回流比，%。

【条文说明】本条规定由 RPIR 池至缺氧池的混合液回流量及回流比的计算公式。

III 除碳/脱氮/除磷

4.4.9 当采用厌氧/缺氧/反应沉淀一体式环流生物反应器（A²/RPIR）工艺时，好氧生物反应所需的容积、缺氧池容积和硝化液回流量的计算，应符合本规程第 4.4.1 条、第 4.4.6 条、第 4.4.7 条和 4.4.8 条的规定。

【条文说明】本条规定同步脱氮除磷 A/A/RPIR 工艺中生物反应池容积的计算原则。

4.4.10 厌氧池的容积，可按下式计算：

$$V_p = \frac{t_p Q}{24} \quad (4.4.10)$$

式中：

V_p ——厌氧池容积，m³；

t_p ——厌氧池水力停留时间，h，宜为 1-2 h；

Q ——污水设计流量，m³/d。

【条文说明】本条规定厌氧池的计算公式。

4.4.11 当有多个缺氧池时，混合液宜从最后一个缺氧池回流到厌氧池。缺氧池到厌氧池的混合液回流流量按下式计算：

$$Q_{pR} = QR_i \quad (4.4.11)$$

式中：

Q_{pR} ——混合液回流量, m^3/d ;

Q ——污水设计流量, m^3/d ;

R_i ——混合液回流比, %。

【条文说明】本条规定由缺氧池至厌氧池的混合液回流原则及回流量的计算公式。

混合液中硝态氮浓度应尽量低, 降低硝态氮对生物除磷反应的抑制作用。因此, 当工艺流程中有多个连续的缺氧池时, 混合液回流点应设置在最后一组缺氧池中。

4.4.12 生物过程对磷的去除率可根据排出生物反应池系统的微生物量按下式计算:

$$\eta_p(\%) = \frac{\Delta X_v \cdot P_x}{Q \cdot P_0} \times 10^5 \quad (4.4.12)$$

式中:

η_p ——生物过程对磷的去除率;

ΔX_v ——排出生物池系统的微生物量, $\text{kg-MLVSS}/\text{d}$;

P_x ——剩余污泥含磷量 ($\text{kg}/\text{kg-MLVSS}$), 可按 0.03-0.07 $\text{kg}/\text{kg-MLVSS}$ 计算;

P_0 ——生物反应池进水总磷浓度, mg/L ;

Q ——污水设计流量, m^3/d 。

【条文说明】本条规定生物过程对磷的去除率的估算公式。

4.5 剩余污泥产量

4.5.1 剩余污泥产量计算按照《室外水设计标准》GB50014 中的 7.7.3 条执行。

【条文说明】本条规定剩余污泥产量的计算公式。

4.5.2 剩余污泥排放量可按下式计算:

$$Q_w = \frac{\Delta X}{X_M} \quad (4.5.2)$$

式中:

Q_w ——剩余污泥排放量, m^3/d ;

X_m ——剩余污泥排放点的混合液悬浮固定浓度，g-MLSS/L。

【条文说明】本条规定剩余污泥排放量的计算公式。

在反应沉淀一体式环流生物反应器（RPIR）工艺中 RPIR 池的污泥浓度最高，故剩余污泥从 RPIR 池排出。同时，可在生化池内设置预浓缩池，对 RPIR 池的污泥浓度进行预浓缩，提供剩余污泥的排放浓度，排放浓度不宜低于 8 g/L。

4.6 曝气系统与设备

4.6.1 RPIR 的供氧量，应满足污水生物反应需氧量的要求。

【条文说明】本条规定 RPIR 供氧设计的一般原则。

RPIR 的供氧量为微生物降解污染物的需氧量，无需额外气量作为环流动力。

4.6.2 曝气系统平面布置需与 RPIR 模块平面布置契合。曝气器可采用微孔曝气盘或板条式曝气器，曝气器应设置于 RPIR 模块之间的曝气区，在 RPIR 模块垂直投影区不应设置曝气器。

【条文说明】本条规定 RPIR 工艺曝气系统的布置原则。

曝气盘的布置需与 RPIR 模块平面布置契合，形成环流效果。为防止气泡进入 RPIR 模块内部干扰固液分离区，RPIR 模块底部不应设置曝气盘。

4.6.3 曝气系统及设备应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB50014 的有关规定。

4.7 配水及回流

4.7.1 RPIR 池内的配水应考虑均匀性，避免配水发生短流现象。

【条文说明】本条规定 RPIR 配水设计的一般原则。

RPIR 池内的流态为全混合式，因此配水需考虑均匀性，宜采用布置穿孔管的方式在 RPIR 池底进行布水，每根管道设置调节装置调节流量。

4.7.2 硝化液回流系统应能较均匀地收集 RPIR 池内的硝化液。

【条文说明】本条规定 RPIR 硝化液回流设计的一般原则。

可采用 RPIR 池均布多根穿孔管的方式，收集 RPIR 池内的硝化液，为避免堵塞，穿孔管开口不小于 $\phi 50$ mm。穿孔管宜布置在 RPIR 模块底部，净距离不

大于 500 mm。管道出口设置流量调节装置。硝化液收集并汇集后，通过泵提
升至缺氧池。

5 RPIR 模块及系统

5.1 一般规定

5.1.1 根据工程需要, RPIR 模块可选配强化沉淀的蜂窝斜管填料, 并配套设置填料冲洗系统和辅助环流系统。

【条文说明】本条规定冲洗系统、辅助环流系统的一般原则。

当 RPIR 模块安装了斜管蜂窝填料时, 因阳光照射的影响, 斜管填料易滋生藻类, 影响出水感官, 因此可安装斜管冲洗系统, 定期对藻类进行冲洗。当 RPIR 模块采取加盖措施时, 可杜绝藻类滋生问题, 但随着运行时间增加, 填料上会逐渐附着生物膜, 此时亦可开启冲洗系统, 冲洗频率根据实际情况调整, 一般为 1 月 1 次。

微生物降解污染物时需要一定的供氧量, RPIR 的环流动力正是来自于此。当实际进水量或进水水质远低于设计值时, 为使好氧生化池溶解氧保持在正常范围, 通常会降低供氧量, 因此 RPIR 模块的环流动力也会减弱。为避免因环流动力减弱影响处理效果, 可为 RPIR 模块配套辅助环流系统, 维持环流动力。

5.1.2 RPIR 池的平面形状宜为矩形, 也可根据现场条件变形为圆形或其他形状。RPIR 模块可根据 RPIR 池型灵活布置, 一般按矩形阵列的形式布置。

【条文说明】本条规定 RPIR 池及模块布置的一般原则。

新建项目中, 生化池一般为矩形, 因此 RPIR 模块可按阵列的形式布置。当用于扩建或改建项目时, 如氧化沟、初沉池等, RPIR 模块需根据具体的池型进行布置。值得注意的是, 无论如何布置, 单套 RPIR 模块的出水负荷需满足要求。

生化池为圆形时, RPIR 模块宜按阵列的形式布置, 条件不满足时也可采用非矩阵形式布置, 无论哪种形式均需满足曝气区宽度 0.4-1.0 m 规定。

5.1.3 RPIR 池的有限水深不宜小于 3.0 m, 曝气深度不宜大于 8.0 m。

【条文说明】本条规定 RPIR 池池深的一般原则。

RPIR 模块的高度为 3.2 米, 水下高度 2.7 米。当 RPIR 池水深低于 3.0 m 时, 会影响模块的安装, 且此时曝气效率较低。曝气深度主要考虑为经济水深, 超过 8.0 米时, 风机较难选型, 且能耗较大。

5.2 RPIR 模块

5.2.1 标准 RPIR 模块常用外形尺寸为 $L \times B \times H = 5.0\text{m} \times 2.4\text{m} \times 3.2\text{m}$ ，主体材质、连接件及紧固件等为 06Cr19Ni10，内部出水管道、管件为硬聚氯乙烯给水管，由支撑臂悬挂于支撑结构上，支撑臂长度需根据支撑位置确定，不宜超过 6.0 m。

【条文说明】本条规定 RPIR 模块的尺寸和材质。

5.2.2 RPIR 标准模块淹没于水下的高度 H_2 为 2.5m，水面以上超高 H_1 为 0.5m。

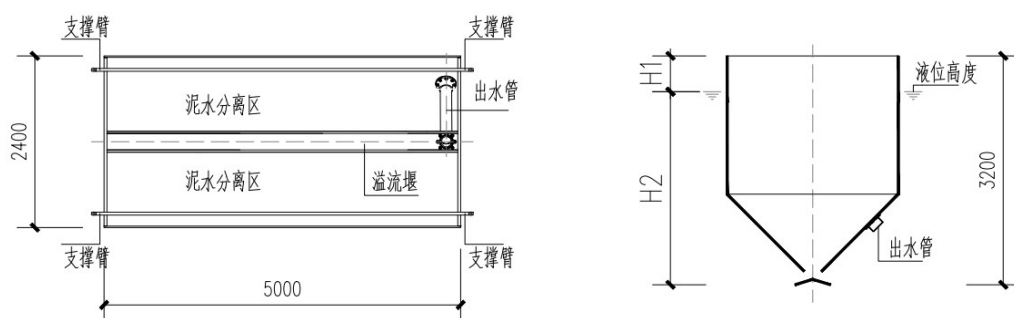


图 5.2.2 RPIR 设备平面及立面图

【条文说明】本条规定 RPIR 模块平面及立面图以及水下部分及超高高度。

5.2.3 RPIR 模块单套单日出水量不宜大于 $200\text{ m}^3/\text{d}$ ，增加蜂窝斜管填料，孔径不宜小于 50mm，单套单日最大出水量不宜大于 $400\text{ m}^3/\text{d}$ 。

【条文说明】本条规定 RPIR 模块的单套单日出水量。

出水量为 $200\text{ m}^3/\text{d}$ 时，水力表面负荷为 $0.83\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 。增加蜂窝斜管填料后，最大出水量为 $400\text{ m}^3/\text{d}$ ，水力表面负荷为 $1.67\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 。按《室外排水设计标准》GB50014 中有关斜管沉淀池的规定，表面水力负荷可按沉淀池 2 倍计。

当出水超过设计值时，会存在悬浮物较高的情况。实际运行案例中，最大出水值能达到 $600\text{ m}^3/\text{d}$ ，末端用混凝沉淀工艺（磁混凝沉淀池）对悬浮物进行保障，该案例为典型的旱季雨季不同处理规模和出水标准的应用案例。

5.2.4 出水溢流堰设置于模块泥水分离区中部，通过内部管道与外部出水总管连接。

【条文说明】本条规定 RPIR 模块出水溢流堰的设置及出水管的连接方式。

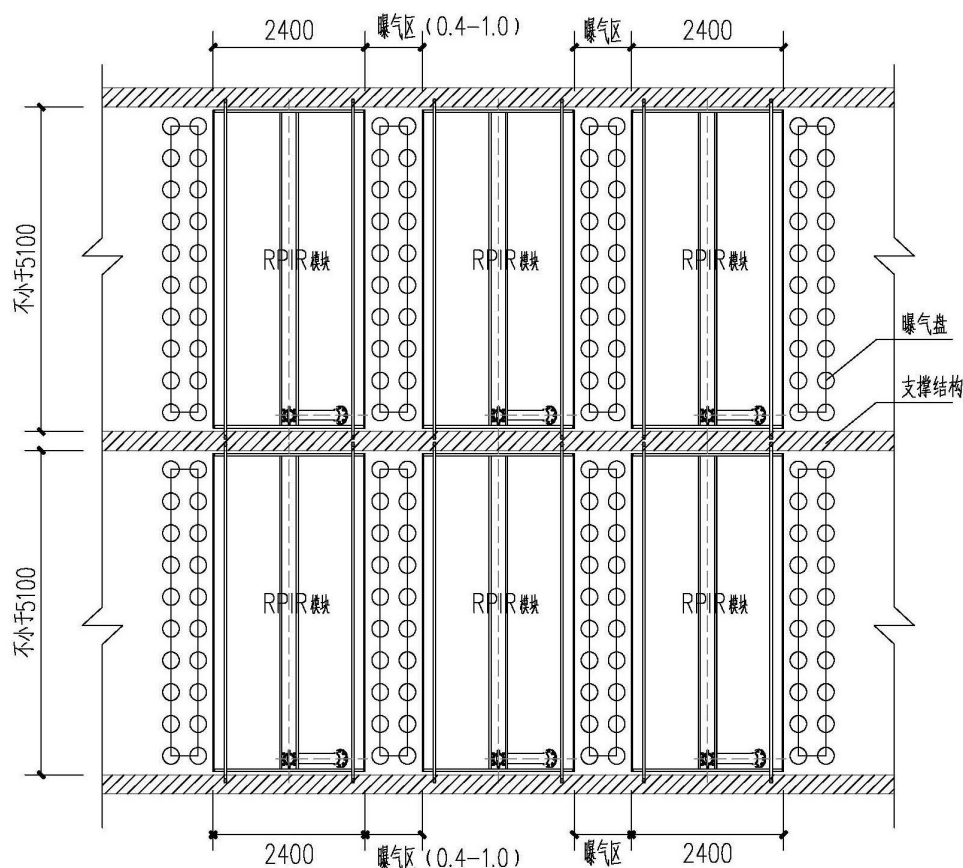
常规采用重力自流出水的方式，各模块出水管在水下汇集至总管后连接至后续构筑物。考虑到水下管道维护的复杂性，可采用虹吸出水方式。该方式出水管在水面以上，既方便进行管道维护，在极端情况下也可提升模块进行

Figure 1 consists of two schematic diagrams of the vacuum suction system. Diagram 1-1 is a side view showing the vacuum tank, storage tank, vacuum pump, and RPIR module. Diagram 2-2 is a side view showing the vacuum pump, storage tank, vacuum pump, and vacuum pump. Both diagrams include labels for various components such as the vacuum tank, storage tank, vacuum pump, and RPIR module. A dashed line labeled '基准面O-O' (Reference plane O-O) is shown in both diagrams.

5.2.5 RPIR 模块之间应留空隙用于设置曝气区及模块支撑结构，曝气区宽度宜为 0.4-1.0m，在曝气区底部不宜设置模块支撑结构。

RPIR 模块之间需设置曝气区（布置曝气器），既提供微生物降解污染物所需的氧气，也提供环流所需的动力。曝气区宽度宜为 0.4-1.0m。曝气区过小时，曝气盘可布置的数量不能满足技术需求，当曝气区宽度过大时，环流动力减弱。

为避免模块支撑结构占用曝气器的安装空间,在曝气区底部不宜设置模块支撑结构。



5.3 选配系统

5.3.1 当 RPIR 模块采用蜂窝斜管填料时，宜设置填料冲洗系统，其所需气源可利用生化曝气源。

【条文说明】本条规定设置蜂窝斜管填料时的一般原则。

斜管填料在使用过程中，易滋生藻类及形成生物膜，严重时会导致堵塞斜管通道，因此，可参照斜管沉淀池的方式在 RPIR 模块内设置气冲系统，定期清洗。因这部分气量较小，可将进气管从生化池曝气管引出。气冲系统可接入中控室自动化运行，也可根据实际情况现场手动操作。

5.3.2 如进水污染物浓度较低，需减少曝气量并可能导致环流动力不足时，宜增加辅助环流系统。

【条文说明】本条规定设置辅助环流系统的一般原则。

当进水污染物浓度或进水量远低于设计条件时，存在环流动力不足的情况，RPIR 模块极易发生污泥堆积的情况，此时宜配套辅助环流系统。辅助环流系统

可采用穿孔管，RPIR 模块两侧对称布置。穿孔管可选用 UPVC、不锈钢等耐腐蚀材质，管径一般为 DN25，动力为空气，宜从生化池曝气管上引出气源。

5.3.3 在藻类和水生动物滋生的地区，宜增加 RPIR 池顶盖或 RPIR 模块独立设置加盖措施。

【条文说明】本条规定 RPIR 池的加盖措施。

从生产实践来看，在南方阳光照射强度大的地区，尤其是夏季，阳光强烈，水温较高，都为藻类的滋生提供了良好的条件。综合比较，遮蔽阳光是阻止藻类滋生的有效手段，目前较为可行的措施 RPIR 池上部整体加盖（顶棚），并留出操作空间，或 RPIR 模块单独加盖（材质为耐腐蚀轻质材料），具备启闭功能，方便对出水进行观察或更换斜管填料。

6 检测与控制

6.1 一般规定

6.1.1 RPIR 的检测与控制内容应根据工程规模、工艺流程及运行管理的要求确定，其设计和选择应符合现行国家标准《室外排水设计标准》GB50014 的有关规定。

【条文说明】本条是关于 RPIR 的检测与控制内容的规定。

6.1.2 仪表的选择应根据工艺要求、使用环境、技术经济等指标确定。

【条文说明】本条是关于 RPIR 仪表的一般原则。

仪表的选择要能满足数据检测要求，且精度高、稳定性强、适应性广泛、低维护，能长期连续进行检测。

6.1.3 自动化仪表和控制系统应保证 RPIR 池的安全和可靠，便于运行管理。

【条文说明】本条是自动化仪表和控制系统的一般原则。

6.2 检 测

6.2.1 RPIR 各处理单元应设置生产控制和运行管理所需的检测仪表。

【条文说明】本条是关于 RPIR 各处理单元设置检测仪表的规定。

6.2.2 厌氧池及缺氧池宜设溶解氧仪、氧化还原电位检测仪，RPIR 宜设溶解氧仪及污泥浓度计。

【条文说明】本条规定各生化处理构筑物内检测仪表的设置种类和要求。

6.2.3 剩余污泥排放宜设流量计，用于统计污泥排出量。

【条文说明】本条规定统计剩余污泥排放的仪表的要求。

6.2.4 当有脱氮除磷需求时，宜设总氮和总磷的在线检测仪。

【条文说明】本条是关于有脱氮除磷需求时的仪表设置要求。

总氮和总磷在线检测仪的检测值用于指导工艺运行。

6.3 控 制

6.3.1 自动控制系统宜采用集中监视、分散控制的方式，工艺设备的控制一般设

置现场、PLC 及中控室控制。

【条文说明】本条规定了自动控制系统设置的一般原则。

6.3.2 自动控制系统应具有数据采集、处理、控制、管理和安全保护功能。

【条文说明】本条规定了自动控制系统的要求和功能。

6.3.3 对有除磷脱氮要求的项目，应采取有效措施控制回流量。

【条文说明】本条规定了混合液回流量控制的要求。

在 A/A/RPIR 工艺中，回流量包括了 RPIR 池至缺氧池的回流量及缺氧池至厌氧池的回流量，两处回流影响系统的脱氮除磷效率，因此宜具备有效控制和调节措施。

7 施工、调试与验收

7.1 一般规定

7.1.1 RPIR 模块应设置支撑结构，宜为混凝土或钢构，表面平整度允许偏差不应大于 5 mm。

【条文说明】本条规定了 RPIR 模块的支撑结构要求。

7.1.2 RPIR 模块与支撑结构宜留有安装间隙，不宜小于 50 mm。

【条文说明】本条规定了 RPIR 模块与支撑结构的安装要求。

7.2 施 工

7.2.1 RPIR 模块吊装前应明确吊装方案，向施工人员交代技术措施和施工方法以及安全注意事项。吊装完成后应做好必要的防护，防止碰撞、划伤。

【条文说明】本条规定了 RPIR 模块的吊装要求。

7.2.2 施工用的水、电、气与安装用的起重运输设备及零部件、配件存放设施应具备使用条件。

【条文说明】本条规定了施工条件要求。

7.2.3 安装前，应核对图纸及现场实际土建尺寸，核对设备实际尺寸与图纸（或现场）相关内容，核对预埋件与设备对应尺寸，确认无误，方可进入安装。

7.2.4 设备就位后，应复查设备安装方位及标高，确保安装符合图纸及相关技术要求。

7.2.5 RPIR 模块就位后，应及时设置限位装置，并调平。

7.3 调 试

7.3.1 调试前应编制调试方案，并做好应急预案。

7.3.2 调试前，应检查各种设备、连接管道和阀门的安装是否符合设计要求，并进行单机空车调试、清水联动调试。

7.3.3 RPIR 工艺的接种污泥宜为活性污泥法的剩余污泥。

7.4 验 收

7.4.1 管道、水池施工及设备安装工程应按现行国家相关标准进行验收。

【条文说明】本条规定了验收标准，有《给水排水管道工程施工及验收规范》GB50268，《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB50231，《混凝土结构工程施工质量验收》GB50204，《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205 等。

7.4.2 系统中所涉及的设备、管材及仪表装置应有产品检验合格证书等相关质量证明材料。

7.4.3 RPIR 模块出水均匀，沉淀区内无漏气现象。

【条文说明】本条规定了 RPIR 模块的出水要求。

为避免沉淀区漏气，RPIR 模块现场组装时，应进行气密性检测。当系统调试时出现漏气现象，应放低水位，尽快排查原因。当出水系统使用虹吸装置时，可单独吊出漏气的 RPIR 模块进行检修。

8 运行与维护

8.1 一般规定

8.1.1 RPIR 工艺中主要设备的运行、维护及安全管理应符合现行行业标准《城镇污水处理厂运行维护及安全技术规程》CJJ60 的有关规定。

8.1.2 操作人员应熟悉处理工艺技术指标和设施的运行要求，经过技术培训和生产实践，并考试合格方可上岗。

8.1.3 应设水质化验室，定期检测进出水水质，并定期对检测仪器、仪表进行校验。

8.2 运行

8.2.1 各池的溶解氧（DO）、氧化还原电位（ORP）及污泥浓度（MLSS）应在运行中定期检测。

【条文说明】本条规定了日常运行中应观察的活性污泥的常规指标和特性。

在生产实践中，SV30 与 SVI 是反应沉淀一体式环流生物反应器（RPIR）运行稳定的一项关键指标。SV30 宜为 30%左右，SVI 宜为 70-80 mL/g，此时污泥沉降速度快，固液分离效果佳，运行效果稳定。

8.2.2 活性污泥污泥生物相、上清液透明度、污泥颜色、状态、气味等应经常观察，反应污泥特性的有关参数应定时检测和计算。

【条文说明】本条规定了 RPIR 模块出现污泥上浮时应对的一般原则。

当 RPIR 模块出现污泥上浮时，有可能为污泥膨胀、RPIR 模块出水量过大或环流动力不足等原因，现场应根据实际情况，及时调整工况。污泥膨胀时，找出造成膨胀的原因，如长期负荷过低、营养不均衡等。RPIR 模块出水量过大时，应及时减小进水量或对单套出水量过大的 RPIR 模块重新进行调平。环流动力不足时，易引起积泥，此时开启辅助环流系统，加强环流动力。

8.2.3 进水量、曝气量、混合液回流量、剩余污泥排放量等应根据观察到的现象和检测数据及时调整，保证出水稳定达标。

8.2.4 RPIR 模块出现污泥上浮等不正常现象时，应分析原因，并针对具体情况采

取适当措施，调整系统运行工况。

8.3 维 护

8.3.1 操作人员应严格执行设备操作规程，定时巡视设备运转是否正常。

8.3.2 当因池体沉降造成 RPIR 模块出水不均时，应及时进行调平出水堰。

8.3.3 根据实际运行情况，定期开启填料冲洗系统，以清理 RPIR 模块内的浮渣、绿藻和疏通填料。无填料冲洗系统时，应不定期人工清理 RPIR 模块内的浮渣、绿藻。

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:

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:

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:

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的写法为:“应符合.....有关规定”或“应按.....执行”。

引用标准名录

《室外排水设计标准》GB 50014

《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231

《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268

《压缩机、风机、泵安装工程施工及验收规范》GB 50275

《城市污水处理厂工程质量验收规范》GB 50334

《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法处理工程技术规范》HJ 576

《城镇污水处理厂运行维护及安全技术规程》CJJ 60

《混凝土结构工程施工质量验收》GB50204

《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205