

中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 2021-2012

内循环好氧生物流化床 污水处理工程技术规范

Technical specifications of internal circulation aerobic biological fluidized bed
for wastewater treatment

本电子版为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的正式标准文本为准。

2012-10-17 发布

2013-1-1 实施

环 境 保 护 部 发布

目 次

前 言.....	ii
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 设计水量和设计水质.....	3
5 总体要求.....	5
6 工艺设计.....	6
7 检测与过程控制.....	17
8 主要辅助工程.....	18
9 施工与验收.....	19
10 运行与维护.....	22
附录 A（规范性附录）流化床生物量的测定	25
附录 B（规范性附录）载体生物膜厚度及活性的测定 微电极法	27

前 言

为贯彻《中华人民共和国水污染防治法》，防治水污染，规范内循环好氧生物流化床在污水处理工程中的应用，制定本标准。

本标准规定了内循环好氧生物流化床污水处理工程的工艺设计、主要设备、检测和控制、运行管理的技术要求。

本标准为首次发布。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国环境保护产业协会、清华大学、北京市环境保护科学研究院、江苏一环集团有限公司、浙江双益环保科技发展有限公司。

本标准环境保护部2012年10月17日批准。

本标准自2013年1月1日起实施。

本标准由环境保护部解释。

内循环好氧生物流化床污水处理工程技术规范

1 适用范围

本标准规定了内循环好氧生物流化床污水处理工程的工艺设计、主要设备、检测和控制、运行管理的技术要求。

本标准适用于采用内循环好氧生物流化床工艺的城镇污水或工业废水处理工程，可作为环境影响评价、设计、施工、环境保护验收及建成后运行与管理的技术依据。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是未注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB 3096	城市区域环境噪声标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 12523	建筑施工场界环境噪声排放标准
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 18597	危险废物贮存污染控制标准
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 18918	城镇污水处理厂污染物排放标准
GB 50014	室外排水设计规范
GB 50015	建筑给水排水设计规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50040	动力机器基础设计规范
GB 50053	10 kV及以下变电所设计规范
GB 50187	工业企业总平面设计规范
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50222	建筑内部装修设计防火规范
GB 50231	机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB 50235	工业金属管道工程施工及验收规范
GB 50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GB 5226.1	机械安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
GB/T 3797	电控设备 第二部分：装有电子器件的电控设备

GBJ 87	工业企业噪声控制设计规范
GBJ 141	给水排水构筑物施工及验收规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2	工作场所有害因素职业接触限值
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
HG 20520	玻璃钢/聚氯乙烯（FRP/PVC）复合管道设计规定
HJ 2007-2010	污水气浮处理工程技术规范
HJ/T 91	地表水和污水监测技术规范
HJ/T 251	环境保护产品技术要求 罗茨鼓风机
HJ/T 252	环境保护产品技术要求 中、微孔曝气器
HJ/T 278	环境保护产品技术要求 单级高速曝气离心鼓风机
HJ/T 283	环境保护产品技术要求 厢式过滤机和板框过滤机
HJ/T 335	环境保护产品技术要求 污泥浓缩带式脱水一体机
	《建设项目竣工环境保护验收管理办法》（国家环境保护总局令 第13号）
	《建设工程质量管理条例》（中华人民共和国国务院令 第279号）
	《建设项目（工程）竣工验收办法》（计建设[1990]1215号）

3 术语和定义

GB 50014界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 内循环好氧生物流化床 internal circulation aerobic biological fluidized bed

指用陶粒、橡胶和塑料类载体等作为微生物载体，通入一定流速的空气或纯氧，使污水、压缩空气和微生物载体在升流区向上流动、降流区向下流动，形成水力循环，并利用载体表面上不断生长的生物膜吸附、氧化并分解污水中的有机物及营养物质，从而去除污水中污染物的工艺。以下简称流化床。

3.2 微生物载体 microbial carrier

指为微生物提供稳定附着生长固定界面的材料，具有在冲击负荷下保护微生物和保持生物量的功能。以下简称载体。

3.3 载体分离器 carrier separator

指将悬浮流化状态的载体限制在反应区，防止载体和附着在载体上的微生物进入固液分离区的

装置。

3.4 预处理 pretreatment

指改善流化床进水物理指标的工艺，如格栅、沉砂池、初沉池等。

3.5 前处理 preprocessing

指改善流化床进水生化指标的工艺，如缺氧池、厌氧池等。

4 设计水量和设计水质

4.1 设计水量

4.1.1 城镇污水设计流量

4.1.1.1 城镇旱流污水设计流量应按下式计算：

$$Q_{dr} = Q_d + Q_m \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_{dr} —— 旱流污水设计流量， m^3/d ；

Q_d —— 设计综合生活污水量， m^3/d ；

Q_m —— 设计工业废水量， m^3/d 。

4.1.1.2 城镇合流污水设计流量应按下式计算：

$$Q = Q_d + Q_m + Q_s = Q_{dr} + Q_s \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Q —— 污水设计流量（合流制）， m^3/d ；

Q_d —— 设计综合生活污水量， m^3/d ；

Q_m —— 设计工业废水量， m^3/d ；

Q_s —— 设计雨水量， m^3/d ；

Q_{dr} —— 旱流污水设计流量， m^3/d 。

4.1.1.3 设计综合生活污水量为服务人口和相对应的综合生活污水定额之积，综合生活污水定额应根据当地的用水定额，结合建筑内部给排水设施水平和排水系统普及程度等因素确定。可按当地相关用水定额的80%~90%设计。

4.1.1.4 综合生活污水量总变化系数应根据当地综合生活污水实际变化量的测定资料确

定，没有测定资料时，可按 GB 50014 中的相关规定取值。如表 1。

表 1 综合生活污水量总变化系数

平均日流量 (L/s)	5	15	40	70	100	200	500	≥1000
总变化系数	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3

4.1.1.5 排入市政管网的工业废水设计流量应根据城镇市政排水系统覆盖范围内工业污染源废水排放统计调查资料确定。

4.1.1.6 设计雨水量参照 GB 50014 的相关规定确定。

4.1.1.7 在地下水位较高的地区，应考虑渗入地下水量，渗入地下水量宜根据实际测定资料确定。

4.1.2 工业废水设计流量

4.1.2.1 工业废水设计流量应按工厂或工业园区总排放口实际测定的废水流量设计。测试方法应符合 HJ/T 91 的规定。

4.1.2.2 工业废水流量变化应根据工艺特点进行实测。

4.1.2.3 不能取得实际测定数据时可参照国家现行工业用水量的有关规定折算确定。或根据同行业同规模同工艺现有工厂排水数据类比确定。

4.1.2.4 考虑工业废水与生活污水合并处理时，工厂内或工业园区内的生活污水量、沐浴污水量的确定，应符合 GB 50015 的有关规定。

4.1.2.5 工业园区集中式污水处理厂设计流量的确定可参照城镇污水设计流量的确定方法。

4.1.3 单元构筑物的设计流量

4.1.3.1 提升泵站、格栅井、沉砂池宜按合流污水设计流量计算。

4.1.3.2 初沉池宜按早流污水流量设计，并用合流污水设计流量校核。对于生活污水处理系统初沉池校核的沉淀时间不宜小于 60 min；对合流制污水处理系统，应按降雨时的设计流量核算，沉淀时间不宜小于 30 min。对于工业废水处理系统初沉池的沉淀时间需根据沉淀试验确定。

4.1.3.3 流化床应按早流污水量计算。

4.1.3.4 流化床前、后的水泵、管道等输水设施应按最高日最高时污水流量设计。

4.2 设计水质

4.2.1 城镇污水的设计水质应根据实际测定的调查资料确定，其测定方法和数据处理方法应符合 HJ/T 91 的规定。无调查资料时，可按下列标准折算确定：

- 1) 生活污水的五日生化需氧量按每人每天 25 g~50 g 计算；
- 2) 生活污水的悬浮固体量按每人每天 40 g~65 g 计算；
- 3) 生活污水的总氮量按每人每天 5 g~11 g 计算；
- 4) 生活污水的总磷量按每人每天 0.7 g~1.4 g 计算。

4.2.2 工业废水的设计水质，应根据工业废水的实际测定数据确定，其测定方法和数据处理方法应符合 HJ/T 91 的规定。无实际测定数据时，可参照同一行业类似工厂的排放资料类比确定。

4.2.3 流化床的进水应符合下列条件：

- 1) 水温宜为 10℃~37℃、pH 宜为 6.0~9.0、BOD₅/COD_{Cr} 值宜大于 0.3、营养组合比（BOD₅: 氮: 磷）宜为 100: 5: 1、进水 COD_{Cr} 浓度宜低于 1000 mg/L；
- 2) 有去除氨氮要求时，进水总碱度（以 CaCO₃ 计）/氨氮值宜≥7.14，不满足时应补充碱度；
- 3) 有脱除总氮要求时，反硝化要求进水的碳源 BOD₅/总氮值宜≥4.0，总碱度（以 CaCO₃ 计）/氨氮值宜≥3.6，不满足时应补充碳源或碱度；
- 4) 有除磷要求时，污水中的五日生化需氧量（BOD₅）/总磷的比值宜大于 17: 1；
- 5) 要求同时除磷、脱氮时，宜同时满足 3) 和 4) 的要求。

4.3 污染物去除率

流化床污水处理工艺的污染物去除率可按照表 2 计算。

表 2 流化床污水处理工艺的污染物去除率

污水类别	主体工艺	污染物去除率 (%)					
		悬浮物 (SS)	五日生化需氧量 (BOD ₅)	化学耗氧量 (COD _{Cr})	氨氮 (NH ₄ ⁺ -N)	总氮 (TN)	总磷 (TP)
城镇污水	初次沉淀+流化床	70~90	80~95	80~90	80~90	40~50 (有缺氧区)	40~60 (不加除磷剂) 80~90 (加除磷剂)
工业废水	预/前处理+流化床	70~90	80~90	60~80	—	—	—

注：应根据出水水质要求，决定是否在流化床后设置过滤池等后续处理构筑物。

5 总体要求

5.1 流化床宜用于小型城镇污水和工业废水处理工程，其污水处理量宜小于 10000 m³/d。

5.2 采用流化床工艺的污水处理厂（站）应遵守以下规定：

1) 污水处理厂厂址选择和总体布置应符合 GB 50014 的相关规定。总图设计应符合 GB 50187 的规定。

2) 污水处理厂（站）的防洪标准不应低于城镇防洪标准，且具有良好的排水条件。

3) 污水处理厂(站)建筑物的防火设计应符合 GB 50016 和 GB 50222 的规定。

4) 污水处理厂(站)堆放污泥、药品的贮存场应符合 GB 18599 和 GB 18597 的规定。

5) 污水处理厂(站)建设、运行过程中产生的废水、废气、废渣及其它污染物的治理与排放,应贯彻执行国家现行的环境保护法规和标准的有关规定,防止二次污染。

6) 污水处理厂(站)的设计、建设应采取有效的隔声、消声、绿化等降低噪声的措施。噪声和振动控制的设计应符合 GBJ 87 和 GB 50040 的规定;机房内、外的噪声应分别符合 GBZ 2 和 GB 3096 的规定;厂界环境噪声排放应符合 GB 12348 的规定。

7) 污水处理厂(站)的设计、建设和运行过程中应重视职业卫生和劳动安全,严格执行 GBZ 1、GBZ 2 和 GB 12801 的规定。在污水处理厂(站)建成运行的同时,安全和卫生设施应同时建成运行,并制定相应的操作规程。

5.3 污水处理厂(站)应按照 GB 18918 的相关规定安装在线监测系统,其他污水处理工程应按照国家或当地的环境保护管理要求安装在线监测系统。

6 工艺设计

6.1 一般规定

6.1.1 流化床出水直接排放时,应符合国家或地方排放标准要求;排入下一级处理单元时,应符合下一级处理单元的进水要求。

6.1.2 根据脱氮除磷要求,宜在流化床内设置缺氧区、化学除磷区或是在工艺中单独设置缺氧池和除磷设施。

6.1.4 单台流化床的最大污水处理能力为 $2500 \text{ m}^3/\text{d}$,当处理水量大于 $2500 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,宜采用多台流化床联合运行的方式,但最多不宜超过 4 台,多台布置时宜设置配水设施。

6.1.5 当进水水质不符合 4.2.3 规定的条件时,应根据进水水质采取适当的前处理和预处理工艺。

6.1.6 酸碱药剂、碳源药剂和除磷药剂储存罐容量应按理论加药量的 $4 \text{ d} \sim 7 \text{ d}$ 的投加量设计,加药系统不宜少于 2 个,宜采用计量泵投加。

6.2 工艺流程

6.2.1 用于城镇污水处理时,宜采用图1所示的工艺流程。

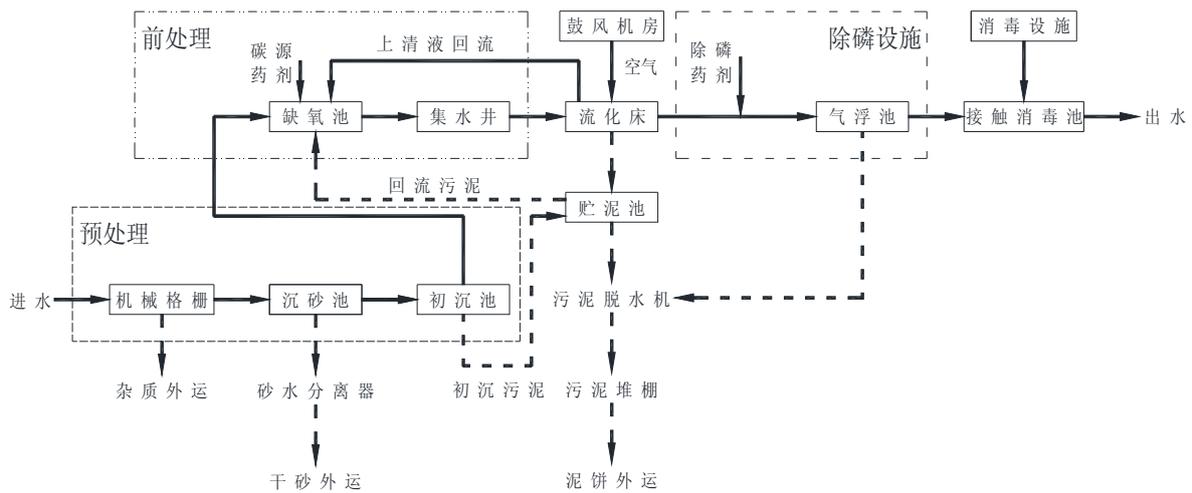


图1 城镇污水处理工艺流程图

6.2.2 用于工业废水处理时，宜采用图2所示的工艺流程。

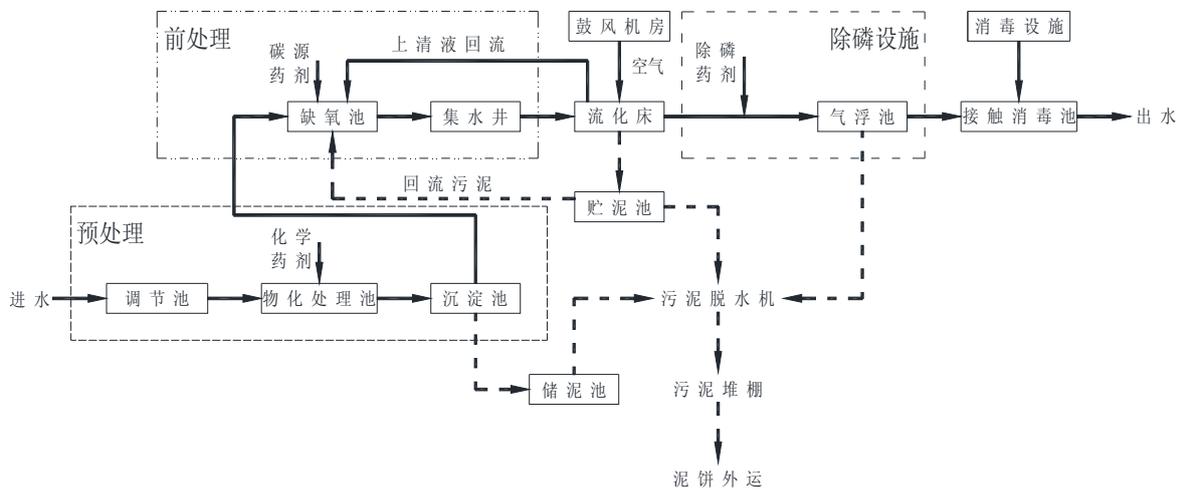


图2 工业废水处理工艺流程图

6.2.3 生活污水与工业废水混合处理时，如 $BOD_5/COD_{Cr} > 0.3$ ，宜采用图1所示的工艺流程，如 $BOD_5/COD_{Cr} < 0.3$ ，宜采用图2所示的工艺流程。

6.3 预处理和前处理

6.3.1 进水系统前应设置格栅。进水泵房及格栅设计应符合GB 50014的相关规定。

6.3.2 流化床工艺应在格栅后设置沉砂池，沉砂池的设计应符合GB 50014的相关规定。

6.3.3 当进水悬浮物（SS）高于200 mg/L时，宜在流化床前设置初沉池，参见图1，初沉池的设计应符合GB 50014的相关规定。

6.3.4 当水质或水量的日变化最大值为最小值的两倍或两倍以上时，应设置调节池，参见图2。调节池的设计应满足以下要求：

- a) 调节池容量应根据废水流量变化曲线确定；没有流量变化曲线时，调节池的容量应满足生

产排水周期中水质水量均化的要求，停留时间宜为6 h~12 h；

- b) 调节池内宜设置搅拌装置，宜采用搅拌机或曝气搅拌方式；
- c) 调节池出水端应设置去除浮渣装置，池底宜设置除砂和排泥装置。

6.3.5 pH 调节应符合下列规定：

- a) 当进水 pH<6.0 或 pH>9.0 时，应及时补充适量酸碱药剂；
- b) 药剂种类、剂量和投加点宜通过现场试验确定；
- c) 酸碱药剂可采用稀盐酸、稀硫酸、石灰或碳酸钠等；
- d) 接触酸碱腐蚀性物质的设备和管道应采取防腐蚀措施。

6.3.6 碳源调节应符合下列规定：

- a) 当进水碳源 BOD₅/总氮值<4.0 时，应及时补充适量碳源；
- b) 药剂种类、剂量和投加点宜通过现场试验确定；
- c) 碳源药剂可采用甲醇、乙酸或食物酿造厂等排放的高浓度有机废水；
- d) 存储和使用甲醇作为碳源时，应做相应的防毒保护；
- e) 接触乙酸腐蚀性物质的设备和管道应采取防腐蚀措施；
- f) 碳源投加量宜按下式计算：

$$BOD_5 = 2.86 \times (N_1 - N_0) \times Q \dots\dots\dots (3)$$

式中：

BOD_5 ——投加的碳源对应的 BOD₅ 量，mg/L；

N_1 ——氨氮达标情况下，未补充碳源时，处理出水的总氮浓度，mg/L；

N_0 ——标准要求的出水总氮浓度，mg/L；

Q ——污水设计流量，m³/d。

6.4 流化床设计

6.4.1 流化床结构

6.4.1.1 好氧生物流化床的结构如图 3a 所示；有反硝化脱氮要求时，流化床内可设置缺氧区和好氧区，结构如图 3b 所示，其中心筒处为缺氧区、其它区域为好氧区。流化床中，载体分离器以上部分为分离区，载体分离器以下部分为反应区，图 3a 和 3b 中箭头方向表示水流方向。

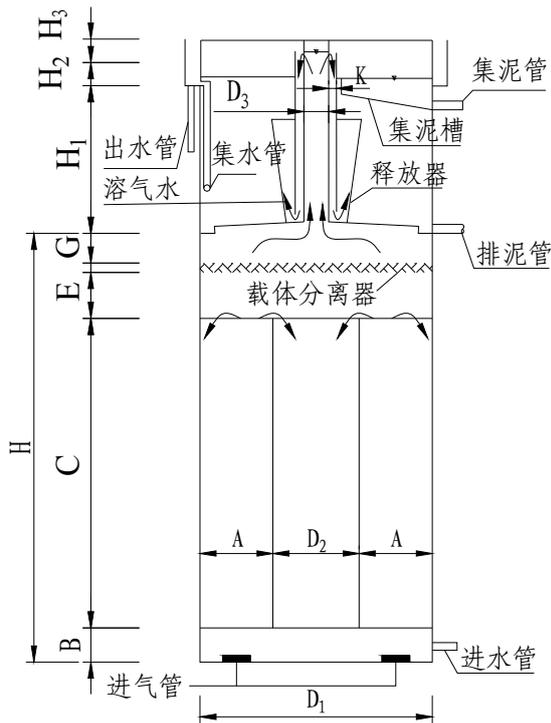


图 3a 流化床的一般结构

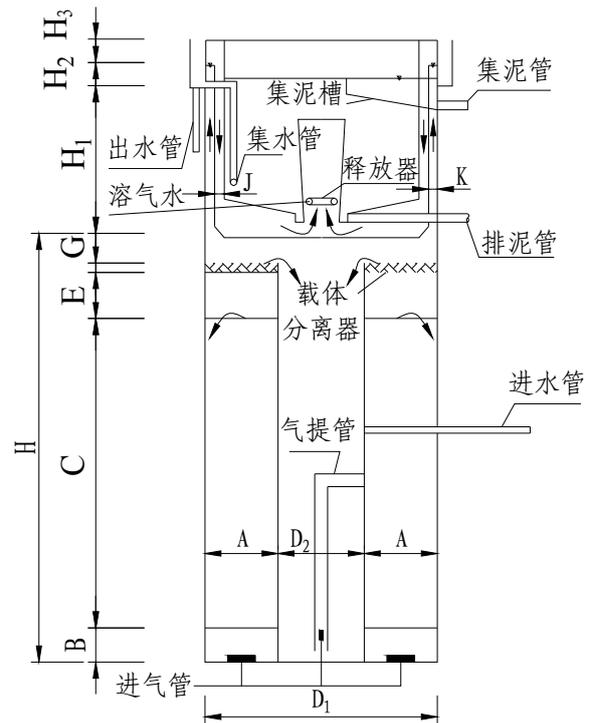
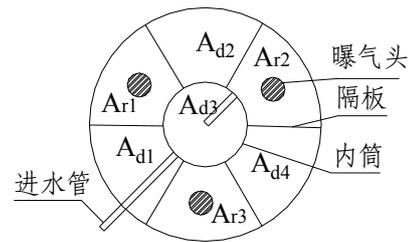
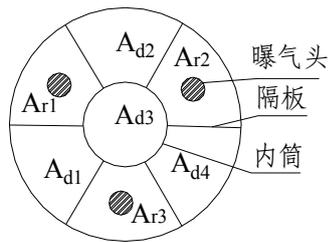


图 3b 有缺氧区的流化床结构



6.4.1.2 降流区与升流区面积之比 (A_d/A_r) 宜为 1~1.5, 其中降流区面积 $A_d=A_{d1}+A_{d2}+A_{d3}+A_{d4}$, 升流区面积 $A_r=A_{r1}+A_{r2}+A_{r3}$ 。

6.4.1.3 好氧反应区隔板下端距流化床底部的底隙 (B) 宜为 600 mm。

6.4.1.4 载体分离器下部空间距离 (E) 宜为 B 值的 1.0~1.2 倍。

6.4.1.5 载体分离器上部空间距离 (G) 宜为 E 值的 0.3~0.5 倍。

6.4.1.6 气液分离区直径 (D_3) 宜为进水管管径的 3~5 倍, $K \geq 200$ mm, $J \geq 150$ mm。

6.4.1.7 固液分离区 H_1 、 H_2 和 H_3 设计可参照 HJ 2007-2010 中加压溶气气浮的相关规定。

6.4.2 好氧反应区容积

6.4.2.1 根据流化床的容积负荷来确定好氧反应区容积时, 应按下式计算:

$$V_1 = Q(S_o - S_e) / N_v \dots\dots\dots (4)$$

式中:

V_1 —— 流化床好氧反应区容积, m^3 ;

Q —— 污水设计流量, m^3/d ;

S_0 —— 流化床进水化学需氧量, mg/L ;

S_e —— 流化床出水化学需氧量, mg/L ;

N_v —— 容积负荷, $kgCOD/(m^3 \cdot d)$ 。

6.4.2.2 容积负荷 (N_v) 应根据试验或同类污水的设计参数确定, 如无其它资料时, 可参考如下经验数据:

a) 当废水 $BOD_5/COD_{Cr} > 0.4$ 时, N_v 可取 $3 kgCOD/(m^3 \cdot d) \sim 5 kgCOD/(m^3 \cdot d)$;

b) 当废水中 $0.3 < BOD_5/COD_{Cr} < 0.4$ 时, N_v 可取 $1 kgCOD/(m^3 \cdot d) \sim 3 kgCOD/(m^3 \cdot d)$;

c) 当废水中 $BOD_5/COD_{Cr} < 0.3$ 时, 应通过预处理和前处理提高 BOD_5/COD_{Cr} 的值, 使其大于 0.3。

6.4.2.3 根据水力停留时间 θ 来确定好氧反应区容积时, 应按下列式计算:

$$V_1 = Q \cdot \theta \dots \dots \dots (5)$$

式中:

V_1 —— 流化床好氧反应区容积, m^3 ;

Q —— 污水设计流量, m^3/d ;

θ —— 水力停留时间, h 。

6.4.2.4 对于生活污水, 公式 (5) 中的 θ 可取 $2 h \sim 4 h$, 对于工业废水可取 $3 h \sim 5 h$ 或视其可生化性确定。求出 V_1 后应按公式 (4) 校核。

6.4.2.5 流化床的好氧反应区容积不宜超过 $400 m^3$ 。

6.4.3 缺氧反应区容积

6.4.3.1 好氧反应区与缺氧反应区的容积比宜为 $(2.5 \sim 3) : 1$ 。

6.4.3.2 缺氧反应区容积应按下列式计算:

$$V_2 = \frac{V_1 D_2^2}{D_1^2 - D_2^2} \dots \dots \dots (6)$$

式中:

V_2 —— 缺氧反应区容积, m^3 ;

V_1 —— 流化床好氧反应区容积, m^3 ;

D_1 —— 流化床直径, m ;

D_2 —— 缺氧反应区直径, m 。

6.4.3.3 流化床直径与缺氧区直径之比宜为 (1.8~2.0) : 1。

6.4.4 好氧反应区的高径比

6.4.4.1 好氧反应区的高径比应按下式计算：

$$\frac{H}{D_1} = \frac{H}{2d/N} = \frac{NH}{2d} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

H —— 流化床高度，m；

D_1 —— 流化床直径，m；

N —— 流化床分隔数；

d —— 好氧反应区横截面面积相等的圆的直径，m。

6.4.4.2 好氧反应区的高径比宜为 3~8。

6.4.4.3 流化床分隔数应为偶数，宜是 4、6、8 等。

6.5 流化床载体

6.5.1 载体选择

6.5.1.1 宜选用陶粒、橡胶和塑料类载体等。

6.5.1.2 陶粒载体粒径以 1 mm~2 mm 为宜，比重宜为 1.50 g/cm³ 左右，磨损率宜不大于 0.5%；橡胶载体粒径以 2 mm~8 mm 为宜，比重宜为 1.30 g/cm³ 左右；塑料类载体粒径以 10 mm~25 mm 为宜，比重宜为 0.94 g/cm³~0.98 g/cm³。

6.5.1.3 载体的级配以 $d_{\max} / d_{\min} < 2$ 为宜。

6.5.1.4 载体的形状宜接近球形。

6.5.1.5 载体表面应粗糙，以利于微生物栖附、生长。

6.5.2 载体投加量

6.5.2.1 投加载体的体积占好氧反应区的体积比应按下式计算：

$$C_s = \frac{X_v}{1000m_l} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

式中：

C_s —— 投加载体的体积占好氧反应区的体积比；

X_v —— 流化床内混合液挥发性悬浮固体平均浓度，gMLVSS/L；

m_l —— 单位体积载体上的生物量，g/mL。

6.5.2.2 投加载体的体积宜为好氧反应区体积的 15%~30%。

6.5.2.3 流化床中所需的生物浓度应按下列式计算：

$$X = \frac{N_v}{N_s} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

X —— 流化床内生物浓度，kgMLVSS/m³；

N_v —— 容积负荷，kgCOD/（m³·d）；

N_s —— 污泥负荷，宜为 0.2 kgCOD/（kgMLVSS·d）～1.0 kgCOD/（kgMLVSS·d）。

6.5.2.4 单位体积载体上的生物量应按下列式计算：

$$m_l = \frac{\rho\rho_c}{\rho_s} \left[\left(\frac{r+\delta}{r} \right)^3 - 1 \right] \dots\dots\dots (10)$$

式中：

m_l —— 单位体积载体上的生物量，g/mL；

ρ —— 生物膜干密度，g/mL；

ρ_c —— 载体的堆积密度，g/mL；

ρ_s —— 载体的真密度，g/mL；

δ —— 膜厚，mm；

r —— 载体平均半径，mm。

6.5.3 载体分离器

6.5.3.1 宜采用迷宫式载体分离器，其结构如图 4 所示。

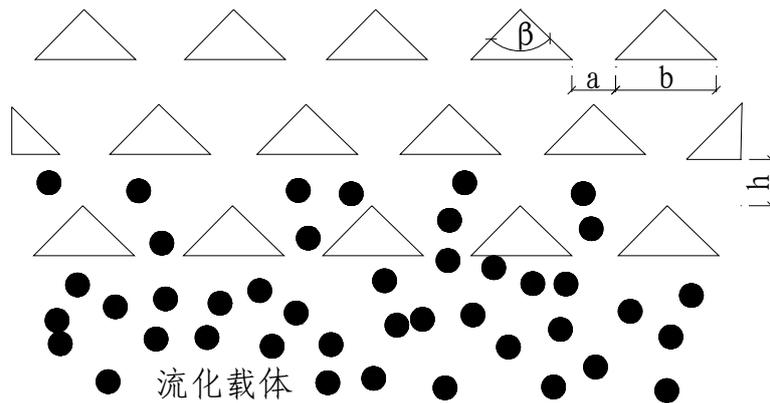


图 4 迷宫式载体分离器结构示意图

6.5.3.2 反射锥顶角（ β ）宜为 45°～90°。

6.5.3.3 反射锥之间的距离（ a ）宜为 2 cm～3 cm，反射锥底面宽度（ b ）宜为 a 值的 2～5 倍。

6.5.3.4 两层反射锥之间的距离（ h ）宜为 5 cm～15 cm。

6.6 供氧

6.6.1 流化床宜采用鼓风曝气供氧，曝气器应设在正对升流区的流化床底部，宜采用均布的中微孔曝气头或穿孔管曝气。

6.6.2 污水需氧量应按下式计算：

$$O_2 = 0.001aQ(S_o - S_e) - c\Delta X_{vss} + b[0.001Q(N_k - N_{ke}) - 0.12\Delta X_{vss}] - 0.62b[0.001Q(N_t - N_{te} - N_{oe}) - 0.12\Delta X_{vss}] \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

O_2 —— 污水需氧量， kgO_2/d ；

Q —— 污水设计流量， m^3/d ；

S_o —— 流化床进水五日生化需氧量， mg/L ；

S_e —— 流化床出水五日生化需氧量， mg/L ；

ΔX_{vss} —— 流化床排出系统的微生物量， kg/d ；

N_k —— 流化床进水总凯氏氮浓度， mg/L ；

N_{ke} —— 流化床出水总凯氏氮浓度， mg/L ；

N_t —— 流化床进水总氮浓度， mg/L ；

N_{te} —— 流化床出水总氮浓度， mg/L ；

N_{oe} —— 流化床出水硝态氮浓度， mg/L ；

a —— 碳的氧当量，当含碳物质以五日生化需氧量计时，取 1.47；

b —— 氧化每公斤氨氮所需氧量 (kgO_2/kgN)，取 4.57；

c —— 细菌细胞的氧当量，取 1.42。

6.6.3 去除含碳污染物时，流化床污水需氧量宜取 $0.7 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}_5 \sim 1.2 \text{ kgO}_2/\text{kgBOD}_5$ 。

6.6.4 流化床工艺选用鼓风曝气装置和设备时，应根据不同的鼓风设备、曝气装置、位于水面下的深度、水温、在污水中氧总转移特性、当地的海拔高度以及预期生物流化床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下污水需氧量。

6.6.5 标准状态 (0.1MPa , 20°C) 下污水需氧量应按下式计算：

$$O_s = K_o \cdot O_2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$K_o = \frac{C_{s(20)}}{\alpha(\beta \cdot \rho \cdot C_{sb(T)} - C_o) \times 1.024^{(T-20)} \times F} \dots\dots\dots (13)$$

$$C_{sb(T)} = C_{s(T)} \left(\frac{P_b}{2.026 \times 10^5} + \frac{O_t}{42} \right) \dots\dots\dots (14)$$

$$P_b = P + 9.8 \times 10^3 H \dots\dots\dots (15)$$

$$\rho = \frac{P_1}{1.013 \times 10^5} \dots\dots\dots (16)$$

$$O_t = \frac{21(1 - E_A)}{79 + 21(1 - E_A)} \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

式中：

O_s —— 标准状态下污水需氧量， kgO_2/d ；

K_o —— 需氧量修正系数；

O_2 —— 污水需氧量， kgO_2/d ；

$C_{s(20)}$ —— 标准条件下清水中饱和溶解氧浓度，取 9.2 mg/L ；

$C_{sb(T)}$ —— 在 $T^\circ\text{C}$ 、大气压条件下，流化床内混合液饱和溶解氧浓度的平均值， mg/L ；

$C_{s(T)}$ —— 在 $T^\circ\text{C}$ 、大气压条件下，清水表面饱和溶解氧浓度值， mg/L ；

C_o —— 混合液剩余溶解氧，一般取 2 mg/L ；

α —— 混合液中总传氧系数与清水中总传氧系数之比，一般取 $0.8 \sim 0.85$ ；

β —— 混合液的饱和溶解氧值与清水中的饱和溶解氧值之比，一般取 $0.9 \sim 0.97$ ；

F —— 曝气扩散设备堵塞系数，一般取 $0.65 \sim 0.9$ ；

ρ —— 压力修正系数；

P_1 —— 所在地区实际压力， Pa ；

T —— 设计水温， $^\circ\text{C}$ ；

P_b —— 空气扩散装置出口处的绝对压力， Pa ；

H —— 空气扩散装置的安装深度， m ；

P —— 大气压力， $P=1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ；

E_A —— 空气扩散装置的氧利用率，一般由厂商提供；

O_t —— 曝气后流化床水面逸出气体中氧的体积百分比。

6.6.6 标准状态下鼓风曝气供气量按下式计算：

$$E_A = \frac{O_s}{S} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

$$S = G_s \times 0.21 \times 1.331 = 0.28G_s \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$G_s = \frac{O_s}{0.28} E_A \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

E_A ——空气扩散装置的氧利用率，一般由厂商提供；

O_s ——标准状态下污水需氧量， kgO_2/d ；

S ——供氧量， kgO_2/h ；

0.21——氧在空气中所占百分比；

1.331—— 20°C 时，氧的密度， kg/m^3 ；

G_s ——标准状态下的供气量， m^3/h 。

6.6.7 流化床工艺宜设置一套备用的鼓风机曝气设备。

6.6.8 应选用低噪声的鼓风机，鼓风机房应采取隔音降噪措施，并符合 GB 12523 的规定。

6.6.9 单级高速曝气离心鼓风机应符合 HJ/T 278 的规定；罗茨鼓风机应符合 HJ/T 251 的规定；微孔曝气器应符合 HJ/T 252 的规定。

6.7 化学除磷

6.7.1 当出水总磷达不到排放标准要求时，宜采用化学除磷作为辅助除磷手段。

6.7.2 化学除磷构筑物宜设置在流化床后，参见图 1。

6.7.3 药剂种类、剂量和投加点宜通过试验确定。

6.7.4 化学除磷药剂可采用铝盐、铁盐，也可采用石灰。采用铝盐或铁盐作除磷剂时，投加的除磷剂与污水中总磷的摩尔比宜为（1.5~3）：1。

6.7.5 接触铝盐和铁盐等腐蚀性物质的设备和管道应采取防腐蚀措施。

6.8 消毒

消毒系统的设计应符合 GB 50014 的规定。

6.9 污泥（污水）回流

6.9.1 宜在流化床前单独设置缺氧池，参看图 1 或 2。流化床出水利用液位差回流至缺氧池，与进水混合完成反硝化后，用泵提升回流化床。流化床出水上清液回流比宜采用 100%~200%或视出水水质及总氮的排放要求确定。

6.9.2 宜在流化床后单独设置贮泥池，参看图 1 或 2，通过污泥回流保持流化床中悬浮生物量，

污泥回流比宜为 50%~100%。污泥回流设备可采用离心泵、混流泵、潜水泵或螺旋泵。

6.9.3 污泥回流设备应不少于 2 台，当生物处理系统中带有厌氧区（池）、缺氧区（池）时，应选用不易复氧的污泥回流设备。

6.10 污泥处理

6.10.1 污泥处理设计应考虑剩余污泥和化学除磷污泥。

6.10.2 剩余污泥量可按下列公式计算：

1) 按污泥泥龄计算：

$$\Delta X = \frac{VX'}{\theta_c} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

ΔX —— 剩余污泥量，kgSS/d；

V —— 流化床的总容积，m³；

X' —— 流化床内混合液悬浮固体平均浓度，kgMLSS/m³；

θ_c —— 污泥泥龄，d。

2) 按污泥产率系数、衰减系数及悬浮物计算：

$$\Delta X = YQ(S_o - S_e) - K_d VX_v + fQ(SS_o - SS_e) \dots\dots\dots (22)$$

式中：

ΔX —— 剩余污泥量，kgSS/d；

Y —— 污泥产率系数，20℃时取 0.4 kgMLVSS/kgBOD₅~0.8 kgMLVSS/kgBOD₅；

Q —— 污水设计流量，m³/d；

S_o —— 流化床进水五日生化需氧量，kg/m³；

S_e —— 流化床出水五日生化需氧量，kg/m³；

K_d —— 衰减系数，d⁻¹；

V —— 流化床的总容积，m³；

X_v —— 流化床内混合液挥发性悬浮固体平均浓度，gMLVSS/L；

f —— 悬浮物的污泥转换率，宜根据试验资料确定，无试验资料时可取 0.5 gMLSS/gSS~0.7 gMLSS/gSS；

SS_o —— 流化床进水悬浮物浓度，kg/m³；

SS_e —— 流化床出水悬浮物浓度, kg/m^3 。

6.10.3 化学除磷污泥量应根据药剂投加量计算。

6.10.4 污泥系统宜设置计量装置, 可采用湿污泥计量和干污泥计量两种方式。

6.10.5 污泥脱水设备可选用厢式压滤机、板框压滤机、带式压榨过滤机、污泥浓缩带式脱水一体机, 所选用的设备应符合 HJ/T 242、HJ/T 283、HJ/T 335 的规定。

6.10.6 城镇污水污泥处理后应符合 GB 18918 的规定, 混合废水或工业废水污泥的鉴别、处理和处置应符合国家相关固体废物污染控制标准的要求。

7 检测与过程控制

7.1 一般规定

7.1.1 流化床污水处理工程应配置相关的检测仪表和控制系统。

7.1.2 自动化仪表和控制系统应保证流化床系统的安全性和可靠性。

7.1.3 流化床污水处理工程设计应根据工程规模、工艺流程、运行管理要求确定检测和控制内容。

7.1.4 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。

7.1.5 电气柜防护等级 IP55。元、器件选择、内外布线、安全接地保护、设备短路保护、过载保护、绝缘电阻值均应符合 GB/T 3797 的要求。电线、电缆选择应符合 GB 5226.1 的要求。

7.2 过程检测

7.2.1 预处理检测

7.2.1.1 预处理构筑物宜设酸碱度计、水位计、水位差计, 可增设化学需氧量检测仪、悬浮物检测仪和流量计。

7.2.1.2 pH 值应控制在 6.0~9.0 之间。

7.2.1.3 应检测进水化学需氧量、氨氮、悬浮物、流量和温度等数据用于工艺控制。

7.2.2 流化床检测

7.2.2.1 流化床宜设溶解氧检测仪和水位计, 缺氧区的溶解氧浓度应控制在 0.2 mg/L~0.5 mg/L, 好氧区的浓度一般不小于 3.0 mg/L, 条件允许时可采用实时检测设备。

7.2.2.2 流化床出水水质检测项目主要包括: COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、 $NO_3^- -N$ 、TN、 PO_4^{3-} 、TP 和 SS, 条件允许时可采用实时检测设备。

7.2.2.3 流化床生物量应大于 3 gSS/L, 检测方法按照附录 A 执行。

7.2.2.4 载体生物膜厚度宜控制在 100 μm ~200 μm , 以 120 μm ~140 μm 为佳, 检测方法按照附录 B 执行。

7.2.3 回流污泥及剩余污泥检测

7.2.3.1 回流污泥宜设流量计，回流污泥量约为进水流量的 50%~100%。

7.2.3.2 剩余污泥宜设流量计，条件允许时可增设污泥浓度计，用于监测、统计污泥排出量。

7.2.4 加药系统检测

7.2.4.1 流化床出水总磷检测可采用实验室检测方式，药剂根据检测值投加；如条件允许时可设总磷在线检测仪，检测值用于自动控制药剂投加系统。

7.2.4.2 流化床反硝化区域出水硝酸盐氮检测可采用实验室检测方式，药剂根据检测值投加；如条件允许时可设总氮在线检测仪，检测值用于自动控制药剂投加系统。

7.3 过程控制与控制系统

7.3.1 污水处理厂（站）应根据其处理规模，在满足工艺控制条件的基础上合理选择配置集散控制系统（DCS）或可编程序控制系统（PLC）。

7.3.2 采用成套设备时，成套设备自身的控制宜与污水处理厂（站）设置的控制系统结合。

7.3.3 自动控制系统应具有信息收集、处理、控制、管理和安全保护功能。

7.3.4 自动控制系统的设计应符合下列要求：

- 1) 根据工程具体情况，经技术经济比较后选择网络结构和通信速率；
- 2) 对操作系统要从运行稳定、易于开发、操作界面方便等方面综合考虑；
- 3) 厂（站）级控制室面积应视其使用功能设定，并应考虑今后的发展；
- 4) 防雷和接地保护应符合国家现行标准的要求。

8 主要辅助工程

8.1 供电

8.1.1 流化床工艺装置的用电负荷应为二级负荷。

8.1.2 流化床工艺装置的高、低压用电电压等级应与其供电的电网电压等级相一致。

8.1.3 流化床工艺装置的中央控制室的仪表电源应配备在线式不间断供电电源设备（UPS）。

8.1.4 流化床工艺装置的接地系统宜采用三相五线制系统（TN-S）。

8.2 低压配电

变电所低压配电室的配电设备布置，应符合国家标准 GB 50053 的规定。

8.3 二次线

8.3.1 流化床工艺线上的电气设备宜设置现场和控制室的双重控制，并纳入工控机系统。

8.3.2 流化床工艺电气系统的控制水平应与工艺水平相一致。

9 施工与验收

9.1 一般规定

9.1.1 工程设计、施工单位应具有国家相应的工程设计、施工资质；工程项目宜通过招投标确定施工单位和设计、监理单位。

9.1.2 应按工程设计图纸、技术文件、设备图纸等组织工程施工，工程的变更应取得设计单位的设计变更文件后再实施。

9.1.3 施工前，应进行施工组织设计或编制施工方案，明确施工质量负责人和施工安全负责人，经批准后方可实施。

9.1.4 工程建设、施工安装和调试，应符合《建设工程质量管理条例》的要求。

9.1.5 施工过程中，应作好材料设备、隐蔽工程和分项工程等中间环节的质量验收；隐蔽工程应经过中间验收合格后，方可进行下一道施工工序。

9.1.6 管道工程的施工和验收应符合 GB 50268 的规定；混凝土结构工程的施工和验收应符合 GB 50204 的规定；构筑物的施工和验收应符合 GBJ 141 的规定。

9.1.7 施工使用的材料、半成品、部件应符合国家现行标准和设计要求。设备安装应符合 GB 50231 的规定。

9.1.8 塑料管道阀门的连接应符合 HG 20520 规定；金属管道安装与焊接应符合 GB 50235 的要求。

9.1.9 工程竣工验收后，建设单位应将有关设计、施工和验收的文件立卷归档。

9.2 施工

9.2.1 土建施工

9.2.1.1 在进行土建施工前应认真阅读设计图纸，了解结构型式、基础（或地基处理）方案、池体抗浮措施以及设备安装对土建的要求，土建施工应事先预留预埋，设备基础应严格控制在设备要求的误差范围内。

9.2.1.2 土建施工应重点控制池体的抗浮处理、地基处理、池体抗渗处理，满足设备安装对土建施工的要求。

9.2.1.3 对于软弱地基上的工程，需对地基进行处理时，应确保地基处理的可靠性，严防池体因不均匀沉降而导致开裂。

9.2.1.4 模板、钢筋、砼分项工程应严格执行 GB 50204 规定，并符合以下要求：

- 1) 模板架设应有足够强度、刚度和稳定性，表面平整无缝隙，尺寸正确；
- 2) 钢筋规格、数量准确，绑扎牢固应满足搭接长度要求，无锈蚀；
- 3) 砼配合比、施工缝预留、伸缩缝设置、设备基础预留孔及预埋螺栓位置均应符合规范和设计要求，冬季施工应注意防冻。

9.2.1.5 施工过程中应加强建筑材料和施工工艺的控制，杜绝出现裂缝和渗漏。出现渗漏处，应会同设计等有关方面确定处理方案，彻底解决问题。

9.2.1.6 现浇钢筋混凝土水池施工允许偏差应符合表 3 的规定。

表 3 现浇钢筋混凝土水池施工允许偏差

项次	项目		允许偏差 (mm)
1	轴线位置	底板	15
		池壁、柱、梁	8
2	高程	垫层、底板、池壁、柱、梁	±10
3	平面尺寸 (混凝土底板和池体长、宽或直径)	$L \leq 20$ m	±20
		$20 \text{ m} < L \leq 50$ m	±L/1000
		$50 \text{ m} < L \leq 250$ m	±50
4	截面尺寸	池壁、柱、梁、顶板	+10
		洞、槽、沟净空	±10
5	垂直度	$H \leq 5$ m	8
		$5 \text{ m} < H \leq 20$ m	1.5H/1000
6	表面平整度 (用 2m 直尺检查)		10
7	中心位置	预埋件、预埋管	5
		预留洞	10

注：L 为底板和池体的长、宽或直径；H 为池壁、柱的高度。

9.2.2 设备安装

9.2.2.1 流化床的曝气器 (曝气头或曝气管) 应水平安装，曝气器的气孔应处于同一高程的水平面上。

9.2.2.2 设备基础应按照设计要求和图纸规定浇筑，砼强度等级、基面位置高程应符合说明书和技术文件规定。混凝土基础应平整坚实，并有隔振措施。

9.2.2.3 预埋件水平度及平整度应符合 GB 50231 规定。

9.2.2.4 地脚螺栓应按照原机出厂说明书的要求预埋，位置应准确，安装应稳固。

9.2.2.5 安装好的流化床等应严格符合外形尺寸的公称允许偏差，不允许超差。

9.2.2.6 各种机电设备安装后试车应满足下列要求：

- 1) 启动时应按照标注箭头方向旋转，启动运转应平稳，运转中无振动和异常声响；
- 2) 运转啮合与差动机构运转应按产品说明书的规定同步运行，没有阻塞、碰撞现象；
- 3) 运转中各部件应保持动态所应有的间隙，无抖动晃摆现象；
- 4) 试运转用手动或自动操作，设备全程完整动作 5 次以上，整体设备应运行灵活，并保持紧张状态；
- 5) 各限位开关运转中动作及时，安全可靠；
- 6) 电机运转中温升在正常值内；
- 7) 各部轴承注加规定润滑油，应不漏、不发热，温升小于 60 ℃。

9.3 工程验收

9.3.1 工程竣工验收应按照《建设项目（工程）竣工验收办法》、相应专业现行验收规范和本标准的有关规定执行。

9.3.2 流化床安装完成后应按照 GBJ 141 的规定进行满水试验，地面以下渗水量应符合设计规定，最大不得超过 2 L/（m²·d）。

9.3.3 泵站和风机房等都应按设计的最多开启台数作 48 h 运转试验，水泵和污泥泵的流量和机组功率应作测定，有条件的应测定其特性曲线。

9.3.4 鼓风机曝气系统安装平整牢固，布置均匀，曝气头无漏水现象，曝气管内无杂质，曝气量满足设计要求，曝气稳定均匀。

9.3.5 检查导流板的安装强度，不得有振动现象。

9.3.6 闸门、闸阀和溢流堰不得有漏水现象。

9.3.7 排水管道应做闭水试验，上游充水管保持在管顶以上 2 m，外观检查应 24 h 无漏水现象。

9.3.8 空气管道应做气密性试验，24 h 压力降不超过允许值为合格。

9.3.9 变电站高压配电系统应由供电局组织电检、验收。

9.4 环境保护验收

9.4.1 污水处理厂（站）应进行纳污养菌调试，在正式投入生产或使用之前，建设单位应向环境保护行政主管部门提出环境保护竣工验收申请。

9.4.2 污水处理厂（站）竣工环境保护验收应按照《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定和工程环境影响评价报告的批复进行。

9.4.3 污水处理厂（站）验收前应进行试运行，测定设施的技术数据和经济指标数据，填写试运

行记录。试运行记录可作为环境保护验收的技术支持文件，试运行记录应包括下列内容：

- 1) 各组建筑物都应按设计负荷，全流程通过所有构筑物，以考核各构筑物高程布置有否问题；
- 2) 测试并计算各构筑物的工艺参数；
- 3) 测定沉砂池的沉砂量，含水率及灰分；
- 4) 测定沉淀池的污泥量、含水率及灰分；
- 5) 测定剩余污泥量、含水率及灰分；
- 6) 统计处理厂（站）进出水量、用电量和各分项用电量；

7) 计算处理厂（站）技术经济指标：五日生化需氧量(BOD₅)去除总量、五日生化需氧量(BOD₅)去除单耗（度电/kgBOD₅）、污水处理成本（元/kgBOD₅）。

10 运行与维护

10.1 一般规定

10.1.1 流化床工艺污水处理设施的运行、维护及安全管理应参照 CJJ 60 执行。

10.1.2 污水处理厂（站）的运行管理应配备专业的人员和设备。

10.1.3 污水处理厂（站）在运行前应制定设备台帐、运行记录、定期巡视、交接班、安全检查等管理制度，以及各岗位的工艺系统图、操作和维护规程等技术文件。

10.1.4 操作人员应熟悉本厂（站）处理工艺技术指标和设施、设备的运行要求，操作人员经技术培训和生产实践，再经考试合格后方可上岗。

10.1.5 各岗位的工艺系统图、操作和维护规程等应示于明显部位，操作人员应按规程操作。

10.1.6 工艺设施和主要设备应编入台帐，应定期检查各类建（构）筑物、设备、电器和仪表的运行是否正常，定期对各类建（构）筑物、设备、电器和仪表进行检修维护，确保设施稳定可靠运行。

10.1.7 应定期检测进出水水质，并对检测仪器、仪表进行校验。

10.1.8 运行中应严格执行经常性的和定期的安全检查，及时消除事故隐患，防止事故发生。

10.1.9 各岗位人员在运行、巡视、交接班、检修等生产活动中，应做好相关记录。

10.2 水质检测

10.2.1 污水处理厂（站）应设水质检验室，并配备检验人员和仪器。

10.2.2 水质检验室内部应建立健全水质分析质量保证体系。

10.2.3 检验人员应经培训后持证上岗，并应定期进行考核和抽检。

10.2.4 采用流化床工艺的城镇污水处理厂（站）污水正常运行检验的项目与周期，应符合 CJJ 60

的规定，其他采用流化床工艺的污水处理工程的检验项目与周期参照 CJJ 60 执行。

10.2.5 水质检测方法应符合国家相关规定。

10.2.6 流化床的悬浮生物量应每隔 24h 检测一次，总生物量根据运行的实际需要确定检测周期，检测方法详见附录 A。

10.2.7 载体生物膜厚度测试方法详见附录 B。

10.3 运行调节

10.3.1 处理水量变化较大时，应按高峰期日处理水量、低谷期日处理水量、日均处理水量调整运行参数。

10.3.2 一天中设施进水量随时间变化较大时，宜调节进水量使其相对稳定，保证流化床处于良好运行状态。

10.3.3 当设施进水悬浮物浓度 $>300\text{ mg/L}$ 时，应增加预处理混凝剂和絮凝剂药量。

10.3.4 当进水 COD_{cr} 浓度出现异常波动，且日最高 COD_{cr} 浓度与日最低 COD_{cr} 浓度比值大于 2 时，应调整工艺各构筑物的回流污泥量、水力停留时间和污泥停留时间等。

10.3.5 当进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度出现异常波动时，且日最高 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度与日最低 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度比值大于 2 时，应及时调整工艺各构筑物的曝气量、回流污泥量、好氧池硝化液回流量（视 TN 去除率确定）和碳源投加量等。

10.3.6 当进水 PO_4^{3-} 和 TP 浓度出现异常波动时，且日最高 PO_4^{3-} 或 TP 浓度与日最低 PO_4^{3-} 或 TP 浓度比值大于 2 时，应及时调整工艺各构筑物的曝气量、回流污泥量、好氧池硝化液回流量和除磷药剂投加量等。

10.3.7 当出水氨氮不能达到排放标准时，应通过以下方式进行调整：

- a) 减少剩余污泥排放量，提高好氧污泥龄；
- b) 提高好氧段溶解氧水平；
- c) 系统碱度不够时宜适当补充碱度。

10.3.8 当出水总氮不能达到排放标准时，应通过以下方式进行调整：

- a) 适当降低好氧反应区内溶解氧浓度，人为增设缺氧区容积；
- b) 投加甲醛、乙酸或食物酿造厂等排放的高浓度有机废水，维持污水的碳氮比，满足反硝化细菌对碳源的需要。

10.3.9 当出水总磷不能达到排放标准时，应通过以下方式进行调整：

- a) 投加化学药剂除磷；

b) 增大剩余污泥的排放。

10.4 曝气调节

10.4.1 应逐步开启各分区曝气器的供气阀门，调节各曝气区的供气平衡。

10.4.2 曝气时，流化床好氧反应区溶解氧浓度宜为 3 mg/L，缺氧反应区溶解氧浓度宜为 0.5 mg/L。

10.4.3 曝气量宜使流化床降流区的液体循环流速大于 0.5 m/s。

10.5 污泥观察与调节

10.5.1 应经常观察活性污泥的颜色、状态、气味、生物相以及上清液的透明度，定时测试以上技术指标。

10.5.2 流化床的排泥量可根据污泥沉降比和混合液悬浮生物浓度（测定方法见附录 A）确定。

10.6 维护

10.6.1 应将流化床的维护保养作为污水处理厂（站）维护的重点。

10.6.2 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，包括温升、响声、振动、电压、电流等，发现问题应尽快检查排除。

10.6.3 应保持设备各运转部位和可调阀门良好的润滑状态，及时添加润滑油、除锈；发现漏油、渗油情况，应及时解决。

10.6.4 应定期检查分离区内是否有载体的积存，如发现有载体积存说明载体分离器运行不正常，应检查载体分离器，调整供气量，并将固液分离区的载体收集后返回反应区。

10.6.5 鼓风曝气系统曝气开始时应排放管路中的存水，并经常检查自动排水阀的可靠性。

10.6.6 应及时检查曝气器堵塞和损坏情况，保持曝气系统状态良好。

附录 A
(规范性附录)
流化床生物量的测定

A.1 适用范围

适用于重量法测定流化床生物量。

A.2 方法原理

流化床中的总生物量 A 由固定生物量 B 和悬浮生物量 C 两部分组成。其中固定生物量是生长在载体上的微生物量。悬浮生物量是在流化床混合液中呈悬浮状态的微生物量，包括了脱落的生物膜和少量的生物污泥絮体。正常情况下固定生物量 B 应远大于悬浮生物量 C。

$$\text{总生物量 } A = \text{固定生物量 } B + \text{悬浮生物量 } C \dots\dots\dots (A.1)$$

A.3 仪器和设备

A.3.1 分析天平，精度为±0.0001 g。

A.3.2 烘箱。

A.3.3 中速定量滤纸。

A.3.4 吸滤瓶（容积为 500 ml 或 1000 ml）。

A.3.5 真空泵。

A.4 分析步骤

A.4.1 悬浮生物量的测定：

悬浮生物浓度 D 的测定可采用活性污泥法的混合液悬浮固体（MLSS）浓度的测定方法。测定步骤如下：

- (1) 将称量瓶和滤纸在 105 °C 的烘箱中烘干衡重，用天平称量，并记录重量为 W1；
- (2) 取一定体积 v 的流化床混合液，用烘干衡重的滤纸过滤；
- (3) 过滤完成后将带污泥的滤纸置于称量瓶中，并放在 105 °C 的烘箱中烘干衡重，用天平称量，并记录重量为 W2；

$$\text{悬浮生物浓度 } D = (W2 - W1) / v \text{ (单位: } g/m^3) \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\text{悬浮生物量 } C = (1 - \eta) \times [D \times V \text{ (池容积)}] / 1000 \text{ (单位: kg)} \dots\dots\dots (A.3)$$

上式中的 η 是载体的填充率（单位：%）。

A.4.2 平均固定生物量的测定：

由于在流化床中不同位置载体上的固定生物量分布的不均匀性，只能通过对池中具有一定代表性的点位进行采样，测出平均的固定生物量。测定步骤如下：

- (1) 确定流化床中具有代表性的点位，在每一处取样点取等量 G 的长有生物膜的载体（如悬浮载体可取相同个数）。如果考虑流化床不同深度载体上生长的生物量差异，还

可以依据不同深度进行载体的采样。

- (2) 将适合放置载体的蒸发皿在 105 °C 的烘箱中烘干衡重，备用；
- (3) 将采集的带有生物膜的载体置于蒸发皿中在 105 °C 的烘箱中烘干衡重，并用天平称量，得重量 W3；
- (4) 将等量的同类新载体置于蒸发皿中在 105 °C 的烘箱中烘干衡重，并用天平称量，得重量 W4；

$$\text{单位载体的生物量 } W5 = [(W3-W4)_{1} + (W3-W4)_{2} + \dots + (W3-W4)_{n-1} + (W3-W4)_{n}] / (G \times n)$$

(单位: g 生物/个载体, g 生物/cm 载体) (A. 4)

上式中的下角标 1, 2, ..., n-1, n 表示不同的采样点；

- (5) 平均固定生物量是流化床的固定生物总量；

$$\text{平均固定生物量 } W6 = [W5 \times N \text{ (或 } L)] / 1000 \quad (\text{单位: kg}) \dots\dots\dots (A. 5)$$

上式中 N 为流化床中悬浮载体的总数 (个), L 为流化床中悬挂式载体的总长度 (cm)。

注：在给出生物量测定结果时，应同时提供进行测定的条件，包括生物量测定时的进水容积负荷、溶解氧浓度和培养时间等。

附录 B

(规范性附录)

载体生物膜厚度及活性的测定 微电极法

B.1 适用范围

适用于微电极法测定载体生物膜厚度。

B.2 方法原理

在显微镜的观察下,利用微动平台精确控制微电极在生物膜中的插入情况,由微动平台的移动距离获得生物膜的厚度;利用微动平台精确定位微电极在生物膜中的位置,由氧(O₂)、NH₄⁺、NO₃⁻微电极的测量信号,在工作曲线上查得相应的浓度,从而获得生物膜内特征参数的浓度分布情况,根据生物膜内部传质和反应原理,计算生物膜耗氧、硝化和反硝化等活性。

B.3 试剂和材料

B.3.1 铵盐标定母液

称取 1.337 g 已在 (105-110) °C 干燥 2 h 的优级纯氯化铵 (NH₄Cl) 溶于水,移入 250 ml 容量瓶中,稀释至标线,混匀,加入 2 ml 三氯甲烷作保存剂,混匀,至少可稳定 6 个月。

B.3.2 硝酸盐标定母液

称取 2.527 g 已在 (105-110) °C 干燥 2 h 的优级纯硝酸钾 (KNO₃) 溶于水,移入 250 ml 容量瓶中,稀释至标线,加 2 ml 三氯甲烷作保存剂,混匀,至少可稳定 6 个月。

B.4 仪器和设备

B.4.1 天平:分析天平,精度为±0.0001 g。

B.4.2 显微镜:体式显微镜,放大倍数>10x。

B.4.3 微动平台:精度 10 μm。

B.4.4 微电极:尖端直径<50 μm。

B.4.5 玻璃毛坏柱:尖端直径<20 μm。

B.4.6 皮安计:分辨率 0.05 pA。

B.4.7 电压计:输入阻抗>10¹² 欧姆,分辨率 0.1 mV。

B.4.8 氧微电极标定装置:包括①两个都配有减压阀的高压气瓶,一个为高压空气瓶,一个为高压氮气瓶;②两台气体流量计;③一个简单的气体混合罐;④曝气头;⑤氧电极标定室;⑥橡胶管等联接材料。

B.4.9 玻璃器具:250 ml 容量瓶;10 ml 移液管;100 mm 表面皿。

B.5 分析步骤

B. 5. 1 生物膜厚度的测定

B. 5. 1. 1 从载体上剪取一小块生物膜（面积约 $2\text{ mm}\times 2\text{ mm}$ ），放置在表面皿中。

B. 5. 1. 2 取一根玻璃毛坏柱，固定在微动平台上，在体式显微镜观察下，将玻璃毛坏柱尖端放置在生物膜/水交界面。

B. 5. 1. 3 记录此时微动平台的起始位置 X_1 。

B. 5. 1. 4 在微动平台控制下，将玻璃毛坏柱逐渐插入生物膜中，直到玻璃毛坏柱略微弯曲。

B. 5. 1. 5 记录此时微动平台的终止位置 X_2 。

B. 5. 1. 6 生物膜厚度 $L = X_2 - X_1$ 。

B. 5. 1. 7 由于在生物接触氧化池中不同位置载体上的生物膜厚度可能不同，可以从多个微生物载体上取样，重复上述测定步骤，对得到的生物膜厚度取平均值，以代表生物接触氧化池的平均生物膜厚度。

B. 5. 2 生物膜活性的测定

B. 5. 2. 1 根据微电极供应商提供的方法正确使用微电极，其中氧微电极信号采用皮安计测量； NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 微电极信号采用高阻抗电压计测量。

B. 5. 2. 2 微电极工作曲线的绘制

B. 5. 2. 2. 1 氧微电极

在氧微电极标定室中加入纯水，分别通入氧分压为 25%，12.5%，0%的气体，记录各个氧分压条件下的微电极输出信号，此外，根据测量温度和氧分压值，查找对应的饱和溶解氧浓度，绘制氧浓度与微电极输出信号的工作曲线。

B. 5. 2. 2. 2 NH_4^+ 、 NO_3^- 微电极

①移取 10ml 铵盐标定母液放入 250 ml 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀；移取 10 ml 上述溶液放入 250 ml 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀；如此依次稀释，配置浓度分别为 1×10^{-2} ， 1×10^{-3} ， 1×10^{-4} ， $1\times 10^{-5}\text{ M}$ 的铵盐标定溶液。

根据不同铵盐标定溶液对应的微电极测量值，绘制工作曲线。

②移取 10ml 硝酸盐标定母液放入 250 ml 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀；移取 10 ml 上述溶液放入 250 ml 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀；如此依次稀释，配置浓度分别为 1×10^{-2} ， 1×10^{-3} ， 1×10^{-4} ， $1\times 10^{-5}\text{ M}$ 的硝酸盐标定溶液。

根据不同硝酸盐标定溶液对应的微电极测量值，绘制工作曲线。

B. 5. 2. 2. 3 微电极每次使用前需要重新绘制工作曲线。

B. 5. 2. 3 生物膜内特征参数的浓度分布测定

- B. 5. 2. 3. 1 从载体上剪取一小块生物膜（面积约 2 mm×2 mm），放置在表面皿中。
- B. 5. 2. 3. 2 取一根微电极，固定在微动平台上，在体式显微镜观察下，将微电极尖端靠近生物膜表面。
- B. 5. 2. 3. 3 在微动平台控制下，按照一定的步长将微电极逐渐插入生物膜中，记录插入距离与响应信号的关系。
- B. 5. 2. 3. 4 查找工作曲线，获得生物膜不同深度上的特征参数浓度分布情况。

B. 5. 2. 4 生物膜耗氧、硝化和反硝化活性的推导

B. 5. 2. 4. 1 生物膜耗氧活性的推导公式如下：

$$R_o = D_{e,o} \cdot \frac{d^2 C_o}{dz^2} \dots\dots\dots (B. 1)$$

式中：

- R_o ——生物膜耗氧活性；
- $D_{e,o}$ ——氧有效扩散系数， cm^2/s ；
- C_o ——氧浓度， mg/L ；
- z ——生物膜插入深度， μm 。

B. 5. 2. 4. 2 生物膜硝化活性的推导公式如下：

$$R_{NH} = D_{e,NH} \cdot \frac{d^2 C_{NH}}{dz^2} \dots\dots\dots (B. 2)$$

式中：

- R_{NH} ——生物膜硝化活性；
- $D_{e,NH}$ ——铵盐有效扩散系数， cm^2/s ；
- C_{NH} ——铵盐浓度， mg/L ；
- z ——生物膜插入深度， μm 。

B. 5. 2. 4. 3 生物膜反硝化活性的推导公式如下：

$$R_{NO} = D_{e,NO} \cdot \frac{d^2 C_{NO}}{dz^2} - R_{NH} \dots\dots\dots (B. 3)$$

式中：

- R_{NO} ——生物膜反硝化活性；
- R_{NH} ——生物膜硝化活性；

$D_{e, NO}$ ——硝酸盐有效扩散系数, cm^2/s ;

C_{NO} ——硝酸盐浓度, mg/L ;

z ——生物膜插入深度, μm 。

B. 5. 2. 5 平均生物膜活性

由于在生物接触氧化池中不同位置载体上的生物膜活性可能不同, 可以从多个微生物载体上取样, 重复上述测定步骤, 对得到的生物膜活性取平均值, 以代表生物接触氧化池的平均生物膜活性。