

团 体 标 准

T/CSF xx-2022

农村生活污水人工湿地处理工程建设技术规范

(Technical specification of constructed wetlands engineering for rural
domestic sewage water treatment)

(报批稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国林学会 发布

目次

前 言	1
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 基本原则和基本要求	5
5 工艺设计	6
6 工程建设	13
7 运行管理	17
8 效果评估	20
附录 1 气候分区及其行政区划范围	22
附录 2 人工湿地工艺类型及特点	27
附录 3 人工湿地主要设计参数表	28
附录 4 常用湿地植物名录	30
附录 5 人工湿地常用基质名录	31
附录 6 人工湿地治理效果评估指标计算公式及参数说明（附表 6.1~附表 6.4）	32

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国林学会提出并归口管理。

本文件起草单位：中煤紫光湖北环保科技有限公司、中煤湖北地质局集团有限公司、中国煤炭地质总局、生态环境部南京环境科学研究所、中铁第四勘察设计院集团有限公司、北京师范大学、北京林业大学、武汉大学、长江水资源保护科学研究所、中铁四局集团有限公司、中煤建工集团有限公司、中国城乡控股集团有限公司、安徽通源环境节能股份有限公司。

本文件主要起草人：程昊、孙富海、李卫宁、赵立君、林亚楠、孟凡鑫、程金花、曾祥、沈振、王永琼、闫峰陵、汪军、苏建萍、江振寅、张琳、方稳安、李冰、邬小宇、杨鹏、余葱葱、李勇、朱振亚、任俊杰、侯佳琪、万文晨、姚鹏。

农村生活污水人工湿地处理工程建设技术规范

1 范围

本文件规定了采用人工湿地技术处理农村生活污水工程的术语和定义、基本原则和要求、工艺设计、工程建设、运行管理以及治理效果评估。

本文件适用于农村生活污水采用人工湿地技术处理工程的设计、施工、运行管理及治理效果评估。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。其中，标注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不标注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 5084	农田灌溉水质标准
GB 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50014	室外排水设计标准
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50093	自动化仪表工程施工及质量验收规范
GB 50141	给水排水构筑物工程施工及验收规范
GB 50164	混凝土质量控制标准
GB 50202	建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50203	砌体结构工程施工质量验收规范
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50334	城镇污水处理厂工程质量验收规范
GB 50575	1kV 及以下配线工程施工与验收规范
GB 50601	建筑物防雷工程施工与质量验收规范
GB 50617	建筑电气照明装置施工与验收规范
GB/T 14685	建设用卵石、碎石

GB/T 20221	无压埋地排污、排水用硬聚氯乙烯(PVC-U)管材
GB/T 29639	生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则
CJJ 6	城镇排水管道维护安全技术规程
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
CJJ 68	城镇排水管渠与泵站运行、维护及安全技术规程
CJJ 113	生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术规范
CJJ 124	镇（乡）村排水工程技术标准
CJ/T 43	水处理用滤料
CJ/T 3008	城市排水流量堰槽测量标准
CECS 162	给水排水仪表自动化控制工程施工及验收规程
JGJ 79	建筑地基处理技术规范
HJ 2005	人工湿地污水处理工程技术规范
HJ/T 353	水污染源在线监测系统（COD _{Cr} 、NH ₃ -N等）安装技术规范
HJ/T 354	水污染源在线监测系统（COD _{Cr} 、NH ₃ -N等）验收技术规范
HJ/T 355	水污染源在线监测系统（COD _{Cr} 、NH ₃ -N等）运行技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

农村生活污水 rural domestic sewage water

农村居民生活产生的污水，主要包括人排泄及冲洗粪便产生的高浓度生活污水和农村居民家庭厨房、洗衣、清洁和洗浴产生的生活杂排水。

3.2

人工湿地 constructed wetland

指用人工筑成水池或沟槽，底面铺设防渗漏隔水层，充填一定深度的基质层，种植湿生植物，利用基质、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用使污水得到净化。按照污水流动方式，分为表面流人工湿地、水平潜流人工湿地和垂直潜流人工湿地。

3.3

人工湿地主体构筑物 constructed wetland main structure

人工湿地处理工艺的主要结构单元，包括布水渠（池）、人工湿地基质池、出水渠（池）等。

3.4

表面流人工湿地 surface flow constructed wetland

污水以水平流方式从湿地的首段流至末端，且内部不设置基质的人工湿地。

3.5

水平潜流人工湿地 horizontal subsurface flow constructed wetland

污水在基质层表面以下，从池体进水端水平流向出水端的人工湿地。

3.6

垂直潜流人工湿地 vertical subsurface flow constructed wetland

污水垂直通过池体中基质层的人工湿地，包括上行垂直流人工湿地和下行垂直流人工湿地。

3.7

预处理 pretreatment

为满足工程总体要求，人工湿地进水水质要求及减轻湿地污染负荷，在人工湿地前设置的处理工艺，如格栅、沉砂、隔油、初沉、均质、水解酸化等。

3.8

强化处理 enhanced treatment

人工湿地进水中污染物浓度较高时，为降低人工湿地的处理负荷，在人工湿地前增加的生化处理单元，包括接触氧化、SBR、A/O、AAO、MBR等二级生化处理。

3.9

湿地植物 plants of constructed wetland

人工湿地中用于吸收、降解污水中污染物所种植的植物，包括挺水植物、浮水植物、沉水植物。

3.10

人工湿地基质 substrates of constructed wetland

指为人工湿地植物与微生物生长提供环境并对污染物起过滤、阻截和吸附等作用的填充材料，包括砾石、沸石、石灰石、页岩、陶粒、火山岩及对生态环境无危害的合成材料等，也称人工湿地滤料或填料。

3.11

水力停留时间 hydraulic retention time

污水在人工湿地内的平均驻留时间。

3.12

污染物削减负荷 pollutants reduction load

单位面积人工湿地在单位时间内去除的污染物质量，污染物指标包括化学需氧量、五日生化需氧量、悬浮物、氨氮、总氮和总磷等。

3.13

孔隙率 porosity factor

人工湿地基质间的孔隙总体积占人工湿地基质堆积总体积的百分比。

3.14

表面水力负荷 hydraulic surface loading

每平方米人工湿地在单位时间所能接纳的污水量。

3.15

水力坡度 hydraulic slope

污水在人工湿地内沿水流方向单位渗流路程长度上的水位下降值。

4 基本原则和基本要求**4.1 基本原则**

4.1.1 规划统一原则。将农村生活污水处理设施建设与美丽乡村建设规划、水环境治理、基础设施规划等统一规划并统筹推进。

4.1.2 景观协调原则。在符合环境工程学基本原理前提下，使人工湿地设施的外观造型、植物配置等与周边农村景观协调统一。

4.1.3 因地制宜原则。既考虑不同区域农村社会经济发展水平，又要考虑农村污水处理的前瞻性和与时俱进。

4.1.4 经济可行原则。在满足出水水质要求的前提下，既考虑人工湿地治理的技术可行性、处理高效性，又要从项目建设投资、项目用地、运行管理等方面考虑治理措施的经济合理性。

4.1.5 循环利用原则。处理尾水在满足排放标准和水质安全性的前提下，能直接回用于当地农村灌溉用水、生产用水和补给地表水。

4.2 基本要求

4.2.1 人工湿地选址应因地制宜，综合考虑当地水文地质、气候气象、地形地貌、防护距离等因素，并符合当地专项规划要求。

4.2.2 人工湿地生活污水处理水量、出水水质等的工艺设计应符合当地农村实际情况，应在充分调查的基础上确定。

4.2.3 人工湿地建设应根据村庄规模、生活污水量、住户分布等情况，采用集中、分散或集中分散相结合的处理模式。

4.2.4 农村生活污水人工湿地治理工程应按项目所在地1月、7月平均气温，并按照年平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 与 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数，分为严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区等五个区。气候分区及其行政区划范围可参照附录1。

4.2.5 农村生活污水处理工程运行管理应结合农村特点，既考虑简洁适用性，又要兼顾安全长期性。

5 工艺设计

5.1 一般要求

5.1.1 农村生活污水人工湿地设计水量应根据村庄现状污水量、常住人口规模、人员流动、村庄近远期规划等因素确定，也可根据表1确定。

表1 农村居民生活用水定额及排放系数

村庄类型	生活用水定额[L/(人·d)]
有水冲厕所，有淋浴设施	100~180
有水冲厕所，无淋浴设施	60~120

无水冲厕所，有淋浴设施	50 ~ 80
无水冲厕所，无淋浴设施	40 ~ 60
排放系数取 40% ~ 80%	
污水设计水量=生活用水定额×村庄人数×排放系数	

5.1.2 农村生活污水收集模式应根据居民居住分布及污水量情况确定。当片区污水量大于 5 m³/d（含）且居住较为集中时，宜铺设污水收集管网将居民生活污水收集至人工湿地进行集中处理；当片区污水量小于 5 m³/d 时，宜根据现场情况，采用单户、多联户分散收集并建设小型人工湿地就地处理。

5.1.3 人工湿地处理系统可由一个湿地单元构成，也可由多个湿地单元并联、串联或混合等组合构成。

5.1.4 农村生活污水处理设计进水水质可通过实测确定。在无实测资料时，可参考表 2 取值。出水水质设计应按当地污染物排放标准或相关规定执行。

表 2 农村居民生活污水水质参考值（单位：mg/L，pH 除外）

主要指标	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	SS	pH 值
建议取值范围	150 ~ 400	100 ~ 200	20 ~ 40	20 ~ 50	2.0 ~ 7.0	100 ~ 200	6.5 ~ 8.5

5.1.5 人工湿地进水水质应满足表 3 的要求。

表 3 人工湿地进水水质要求（单位：mg/L）

人工湿地类型	BOD ₅	COD _{Cr}	SS	NH ₃ -N	TP
表面流人工湿地	≤ 50	≤ 125	≤ 100	≤ 10	≤ 3
水平潜流人工湿地	≤ 80	≤ 200	≤ 60	≤ 25	≤ 5
垂直潜流人工湿地	≤ 80	≤ 200	≤ 80	≤ 25	≤ 5

5.2 工艺选择

5.2.1 应根据进水水质、场地条件、投资规模、排放标准、所在区域的气候条件等因素以及技术经济比较确定人工湿地处理的工艺。

5.2.2 人工湿地类型主要包括表面流人工湿地、水平潜流人工湿地、垂直流人工湿地（上行、下行）三种类型，各类型人工湿地处理单元示意图见图 1~图 4。各类型人工湿地的特点可参考附录 2。

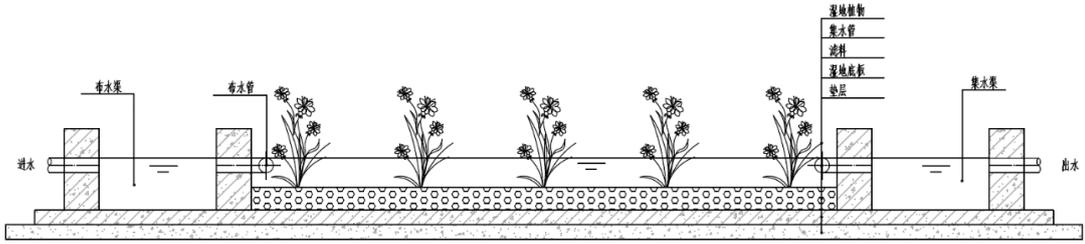


图 1 表面流人工湿地单元示意图

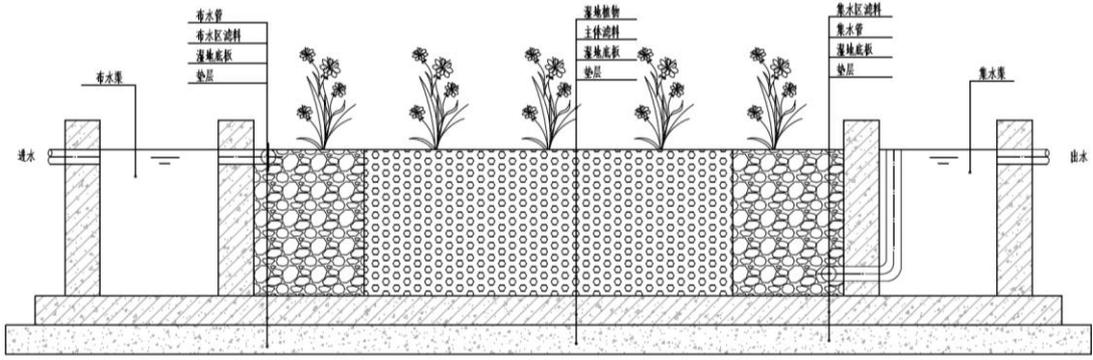


图 2 水平潜流人工湿地单元示意图

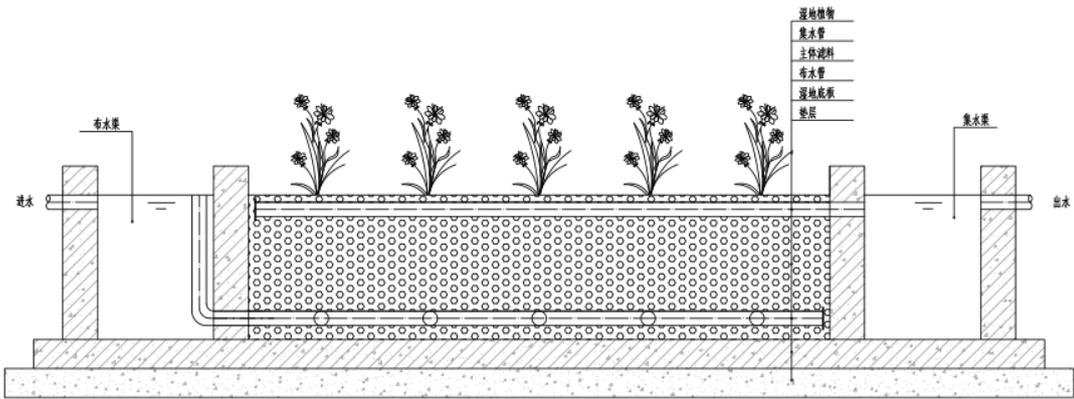


图 3 垂直潜流人工湿地单元示意图（上行）

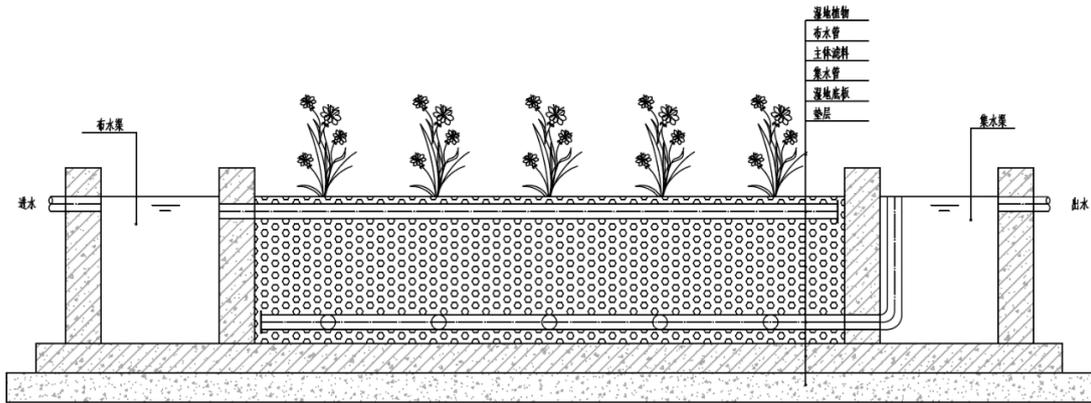


图4 垂直潜流人工湿地单元示意图（下行）

5.2.3 当出水标准要求较高、土地使用受限时，宜采用水平潜流或垂直潜流人工湿地。

1) 当以去除有机物和氨氮为主时，宜采用下行垂直潜流人工湿地；

2) 当对总氮去除有较高要求时，可采用下行-上行垂直潜流人工湿地、下行垂直潜流-水平潜流人工湿地、水平潜流-下行垂直潜流人工湿地等组合工艺。

5.3 工艺设计

5.3.1 人工湿地的工艺设计流程应符合图5规定。

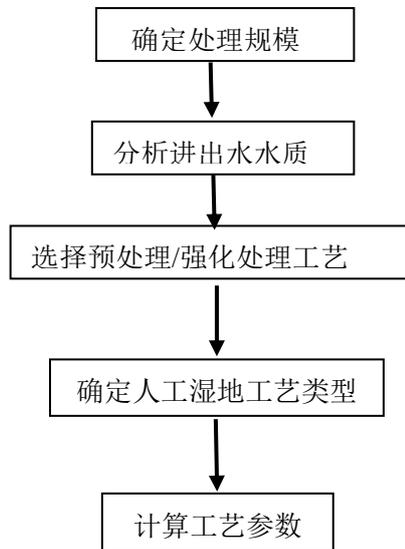


图5 人工湿地污水处理工艺设计流程图

5.3.2 预处理工艺

5.3.2.1 当人工湿地进水水质不满足 5.1.5 表 3 规定时，污水应经过预处理或预处理-强化处理后方可进入人工湿地进行处理，其设计应符合 GB/T 51347 及 CJJ 124 的相关规定。

5.3.2.2 预处理系统的设计应满足以下要求：

- 1) 去除悬浮物，悬浮物浓度宜低于 100 mg/L；
- 2) 进水中含油量大于 50 mg/L 时，应有隔油措施。

5.3.3 强化处理

5.3.3.1 当进水中有机物含量较高、出水标准要求较严时，应选用以好氧生物处理为主的强化处理工艺。

5.3.3.2 当进水中氮磷含量较高，出水标准要求较严时，应选用具备除磷脱氮类型的强化处理工艺。

5.3.4 设计要求

5.3.4.1 人工湿地的总深度应为水深或基质厚度加超高的总高度。

- 1) 表面流人工湿地的水深宜为 0.3 m ~ 0.6 m，超高应大于风浪爬高且宜不小于 0.5 m；
- 2) 水平潜流人工湿地基质厚度宜为 0.6 m ~ 1.6 m，垂直潜流湿地基质厚度宜为 0.8 m ~ 2.0 m，超高宜取 0.3 m；
- 3) 池体宜高出地面 0.2 m ~ 0.3 m。

5.3.4.2 在 I、II 类寒冷地区，人工湿地的总深度还应考虑冬季运行表面结冰的因素，冰层厚度可根据项目所在地的冰面冰层厚度确定。

5.3.4.3 对形状不规则的人工湿地，应设置避免短流和污水滞留的导流设施。

5.3.4.4 人工湿地当采用多个单元并联运行时，可采取间歇运行的方式对湿地基质层进行充氧。

5.3.4.5 垂直潜流人工湿地采用底部排水时，应设有与底部排水管相连的通气管。通气管管径宜与排水管相同，管顶部应设置防杂物进入的保护罩。

5.4 设计参数计算

5.4.1 人工湿地工艺设计参数应主要包括表面积、表面水力负荷、水力停留时间等内容。

5.4.1.1 人工湿地的表面积设计可按 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 NH_3-N 、 TP 等主要污染物的削减负荷和表面水力负荷进行计算，并取其计算结果的最大值，同时应校核水力停留时间是否满足设计要求。

5.4.1.2 人工湿地表面积可按公式 1 计算：

$$A = Q \times (S_0 - S_1) / N_A \quad (\text{公式 1})$$

式中： N_A —污染物削减负荷[g/(m²·d)]，以 BOD₅、NH₃-N、TN、TP 计；

Q —设计处理量(m³/d)；

S_0 —进水污染物浓度(g/m³)；

S_T —出水污染物浓度(g/m³)；

A —人工湿地表面积(m²)。

5.4.1.3 表面水力负荷可按公式 2 计算：

$$q = Q/A \quad (\text{公式 2})$$

式中： q —表面水力负荷[m³/(m²·d)]；

Q —设计处理量(m³/d)；

A —人工湿地表面积(m²)。

5.4.1.4 水力停留时间可按公式 3 计算：

$$T = LBHn/Q \quad (\text{公式 3})$$

式中： T —水力停留时间(d)；

L —人工湿地长度(m)；

B —人工湿地宽度(m)；

H —人工湿地有效水深(m)；

n —人工湿地基质孔隙率(%)，表面流人工湿地 $n=1$ ；

Q —设计处理量(m³/d)。

注：该时间为按设计水量运行时的水力停留时间，人工湿地实际停留时间为实际水量运行时的水力停留时间。

5.4.1.5 表面流人工湿地水力坡度宜小于 1%，潜流人工湿地水力坡度宜为 1%~2%，水力坡度可按公式 4 计算：

$$i = \Delta H/L \times 100\% \quad (\text{公式 4})$$

式中： i —水力坡度(%)；

ΔH —污水在人工湿地内渗流路程长度上的水位下降值，m；

L —污水在人工湿地内渗流路程的水平距离，m。

5.4.1.6 人工湿地配水、集水系统穿孔管孔口出流流量可按公式 5 计算：

$$Q_{\text{孔}} = \eta_{\text{孔}} \cdot \mu \cdot A_{\text{孔}} \cdot (2 \cdot g \cdot h_{f\text{孔口}})^{1/2} \quad (\text{公式 5})$$

式中：

$Q_{\text{孔}}$ —穿孔管出流流量(m^3/s)；

μ —单孔孔口出流流量系数，一般取 0.60~0.62；

$A_{\text{孔}}$ —穿孔管孔口面积总和(m^2)；

$h_{f\text{孔口}}$ —孔口出流设计进出水水位差(m)；

$\eta_{\text{孔}}$ —安全系数，包括淤堵、遮蔽等影响，为保证安全，宜取 0.1~0.2；

g —重力加速度 (m/s^2)。

5.4.1.7 人工湿地垂直水流方向过流断面渗流量可按公式 6 计算：

$$Q_{\text{渗}} = \eta_k \cdot A \cdot k \cdot i \quad (\text{公式 6})$$

式中：

$Q_{\text{渗}}$ —渗流流量 (m^3/s)；

k —洁净基质的渗透系数 (m/s)，无实测数据时，渗透系数数值可参考表 4；

i —水力坡度；

A_s —垂直水流方向的渗流断面面积 (m^2)；

$\eta_{\text{孔}}$ —安全系数，包括淤堵、滞留等影响，为保证安全，宜取 0.1~0.2，湿地基质粒径越小取值越小。

表 4 洁净基质线性渗透系数 k

基质粒径 mm	0.1 ~ 2	2 ~ 6	6 ~ 10	10 ~ 30	20 ~ 40
渗透系数 m/s	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-3}	0.20	0.88	1.18

5.4.2 人工湿地单元的长宽比宜符合下列规定：

- 1) 表面流人工湿地宜大于 3:1；
- 2) 水平潜流人工湿地宜为 3:1 ~ 10:1，长度宜为 20 m ~ 50 m；
- 3) 垂直潜流人工湿地宜为 1:1 ~ 3:1。

5.4.3 人工湿地的主要设计参数，宜根据试验确定。无试验资料时，可采用相似条件下人工湿地运行经验数据或按附录 3 取值。

6 工程建设

6.1 一般要求

6.1.1 人工湿地系统应主要包括预处理/强化处理设施（工艺）、人工湿地主体设施和配套设施等。必要时，应增加预处理措施和强化处理工艺。

1) 人工湿地主体设施应包括配水系统、主体池体、基质、湿地植物、集水系统等；

2) 配套设施包括场站道路、围栏、绿化、电气系统等；

3) 人工湿地预处理设施应主要包括格栅渠（池）、隔油池、沉淀池、沉砂池、调节池、厌氧池等；

4) 人工湿地强化处理工艺应主要包括接触氧化、SBR、A/O、AAO、MBR 等。

6.1.2 场址选择应至少满足以下要求：

1) 应优先选择靠近自然水体或自然沟渠，可利用坑塘、洼地和荒地；

2) 应在夏季主导风向下风侧，并根据环境影响评价要求与村庄居民区有一定防护距离；

3) 应不受洪水、潮水或内涝的威胁，且不影响行洪安全，场址及周边应有防洪排涝设施；

4) 尾水排水管宜设置不大于 3%的坡度。

6.1.3 人工湿地总体布置应至少满足以下要求：

1) 应利用自然地形地势条件，优先采用重力自流和自然充氧；

2) 宜结合当地农业生产，合理布置尾水排水及回用设施；

3) 应设置通向各处理设施和附属建筑物的人行道，人行道宽度宜为 0.8 m~1.5 m。

6.2 地基与基础

6.2.1 地基与基础工程的设计应符合 GB 50007 的相关规定。

6.2.2 地基与基础处理应符合 JGJ 79 和 GB 50007 的相关规定。

6.2.3 地基与基础工程质量验收应符合 JGJ 79 和 GB 50202 的相关规定。

6.3 主体构筑物

6.3.1 人工湿地主体构筑物可采用混凝土、砖、毛石或黏土等结构形式。采用混凝土和砖砌结构时池底应设置不低于 100 mm 厚的 C10 混凝土垫层；采用砌体或黏土结构时，应满足相关防渗规定。

6.3.2 混凝土结构构筑物施工应符合 GB 50204 和 GB 50164 的相关规定，砌体结构的砌筑

施工应符合 GB 50203 的相关规定。

6.3.3 配水堰口、配水管与集水管等附属结构施工应符合 GB 50141 和 GB 50334 的相关规定。

6.3.4 防渗膜铺展开后应及时焊接和缝合，防渗膜的铺展、搭接宽度的设定、焊接缝合的施工均应符合 CJJ 113 的相关规定。

6.3.5 人工湿地主体构筑物质量验收应符合 GB 50141、GB 50203 和 GB 50204 等相关规定。

6.4 配（集）水

6.4.1 人工湿地处理单元的进出水系统应满足配水和集水的均匀性和可调性要求，可采用穿孔管（墙）、配（集）水管、配（集）水堰、连通管渠等装置。

6.4.2 人工湿地出水可采用沟排、管排、井排等方式，并设置溢流堰、分水井、分水闸门及可调管道等具有水位调节功能的设施。

6.4.3 潜流人工湿地采用穿孔管配水时应符合以下要求：

1) 穿孔管应均匀布置于滤料层上部或底部，穿孔管流速宜为 1.5 m/s ~2.0 m/s，配水孔宜斜向下 45° 交错布置，孔径宜为 5 mm ~ 10 mm，孔口流速不小于 1 m/s；

2) 穿孔管的管孔应分布均匀，管孔尺寸和间距应根据进水流量和进出水水力条件核算，管孔间距不宜大于 1 m，且不宜大于人工湿地单元宽度的 10%；

3) 垂直流人工湿地配水管支管间距宜为 1 m ~ 2 m；

4) 穿孔管位于基质层底部时，周围宜选用粒径较大的基质，且粒径应大于穿孔管孔径。

6.4.4 湿地系统宜设置排空设施、拦水及超越管渠等防范雨水径流或洪水对湿地短期冲击的措施。

6.4.5 湿地出水量较大且出水与接纳水体的水位差较大时，应设置消能、防冲刷设施。

6.4.6 湿地总排水管进入地表水体时，应有防倒灌措施。

6.4.7 在寒冷地区，集、配水及进、出水管应有防冻措施。

6.4.8 人工湿地进、出水管宜采用硬聚氯乙烯管，管材应符合 GB/T 20221 的相关规定。

6.5 植物配置

6.5.1 植物选择原则

6.5.1.1 植物的选择应符合下列基本要求：

1) 根系发达，输氧能力强；

- 2) 适合当地气候环境，优先选择本土植物；
- 3) 抗冻、耐盐、耐热及抗病虫害等抗逆性较强；
- 4) 耐污能力强、去污效果好；
- 5) 具有一定观赏价值；
- 6) 容易管理。

6.5.1.2 人工湿地常用植物选择可参照附录 4。不得选择水葫芦、空心莲子草、大米草、互花米草等外来入侵物种。

6.5.2 植物种植要求

6.5.2.1 水生植物种植时，应保持基质湿润，种植后应逐渐提升至设计水位。

6.5.2.2 种植时间应根据植物生长特性确定，一般在春季或初夏，必要时也可在夏季、秋季种植，但应保证成活率。

6.5.2.3 植物栽种以植株移栽为主，同一批种植的植物植株宜大小均匀。

6.5.2.4 植物种植密度可根据植物种类与工程的要求调整，挺水植物的种植密度宜为 9 株/ m^2 ~25 株/ m^2 ，浮水植物和沉水植物的种植密度宜为 3 丛/ m^2 ~9 丛/ m^2 。

6.5.2.5 在用地受限或进水悬浮物浓度较高时，种植密度宜为 6.5.2.4 种植密度最大值 3 倍以上。

6.5.2.6 人工湿地可选择多种植物分区搭配种植，但应避免后期植物生长串混或侵占。

6.6 基质配置

6.6.1 基质的选择

6.6.1.1 人工湿地基质选择应因地制宜、就近取材，粒径的选择应满足市场要求。

6.6.1.2 基质应选择具有一定机械强度、比表面积较大、稳定性良好并具有合适孔隙率及表面粗糙度的填充物，主要技术指标应符合 CJ/T 43 及 GB/T 14685 的相关规定。

6.6.1.3 基质选择应兼顾当地资源状况，可选用砾石、碎石、卵石、沸石、火山岩、陶粒、石灰石、矿渣、炉渣、蛭石、高炉渣、页岩或钢渣等材料，也可采用经过加工和筛选的碎砖瓦、混凝土块材料或对生态环境安全的合成材料。常用湿地基质可参照附录 5。

6.6.1.4 选择除磷、脱氮等功能性基质时，基质的种类及数量应通过试验确定。

6.6.1.5 采用矿渣、钢渣等作为基质时，锌、砷、铅等重金属物质溶出应满足出水水质要求。

6.6.1.6 不得使用土壤、砂土作为潜流湿地的基质。

6.6.2 基质的铺设与布置

6.6.2.1 可采用单一基质或组合基质，基质粒径可采用单一规格或多种规格搭配。

6.6.2.2 基质应预先清洗干净，按照设计级配要求充填，基质有效粒径比例不宜小于 95%。

6.6.2.3 基质充填应平整，孔隙率应不低于 35%，初始孔隙率宜控制在 35% ~ 45%。；

6.6.2.4 基质层厚度应满足植物正常生长根系所需深度。

6.7 配套设施

6.7.1 当预处理构筑物出水口低于人工湿地进水口时，应增加水力提升装置。

6.7.2 当出水对病菌指标要求较高时，应增加消毒设施，消毒设施应符合 GB 50014 的相关规定。

6.7.3 电气设备附属工程施工及质量验收应符合设计文件的要求和 GB 50575、GB 50617 和 GB 50601 的相关规定。

6.7.4 自动控制及监控系统工程施工及质量验收应符合设计文件的要求和 GB 50093 的相关规定。

6.7.5 水量计量装置的施工及质量验收应符合设计文件的要求和 CJ/T 3008 的相关规定，流量计的施工及质量验收应符合设计文件的要求和 CECS 162 的相关规定。

6.7.6 有信息化管理需求的人工湿地，应安装水质在线监测系统。水质在线监测系统的安装应符合 HJ/T 353、HJ/T 354、HJ/T 355 的相关规定，其施工及质量验收应符合设计文件的要求和 HJ/T 354 的相关规定。

6.8 强化措施（工艺）

6.8.1 当对磷或氨氮有较高去除要求时，可增设对磷或氨氮去除能力较强的基质如沸石或火山岩等。基质层厚度和面积应根据湿地处理单元对水中氮磷去除要求与基质的吸附性能确定。基质应根据处理情况定期更换或再生利用。

6.8.2 当对总氮去除有较高要求时，可设置好氧-厌氧区间。

6.8.3 当对有机物和氨氮浓度较高时可采取辅助充氧措施，辅助充氧措施应满足下列要求：

1) 两个人工湿地处理单元水位差大于或等于 0.5 m 时，宜采用单级或多级陡坡充氧、跌水充氧等自然充氧形式。

2) 采用陡坡充氧时，坡度宜为 1: 4 ~ 1: 2；采用跌水充氧时，应有防止水流对构筑

物冲刷的措施。

3) 应根据人工湿地处理单元对水中溶解氧含量的要求确定机械充氧的充氧时间及充氧设备功率等。

4) 充氧位置宜设置在人工湿地的进水端和中间段。

6.9 防堵塞措施

6.9.1 潜流人工湿地防堵塞措施，应主要包括：

1) 预处理设计中应有拦截垃圾、杂物及降低进水中悬浮物浓度的措施；

2) 进水有机物浓度过高时应增加强化生物处理工艺，潜流湿地进水 COD 宜控制在 200 mg/L 以下；

3) 采取间歇运行或并联单元交替运行；

4) 湿地基质铺设前应冲洗干净。

6.9.2 对于冬季气温低于 0℃ 的地区的防冻塞措施应主要包括：

1) 冬季运行时进水应不低于 5℃，可采用收割的桔杆覆盖在基质上层、提高湿地运行水位等保温措施；

2) 冬季运行时应保持进出水的连续性，或保持管道内间歇性排空；

7 运行管理

7.1 一般要求

7.1.1 人工湿地运行管理应符合 CJJ 60 的相关规定，同时还应符合国家现行有关标准的规定。

7.1.2 应制订设施设备维护保养手册、技术操作规程、安全操作规程、运行要求、巡视检查、岗位责任制及应急预案等，并定期修订。

7.1.3 人工湿地运行维护人员、技术人员及管理人员应接受相关法律法规、专业技术、安全防护、应急处理等理论知识和操作技能的培训，培训考核合格后方可上岗。

7.1.4 人工湿地运行管理人员应按照规定检查构筑物、设备、电器和仪表的运行情况，填写运行记录。

7.1.5 人工湿地运行管理人员应按规定对相关设备进行保养和清扫，填写保养记录。

7.1.6 应按规定对人工湿地进出水水质进行监测，各监测项目应符合国家和地方相关标准的规定。

7.2 运行调试

7.2.1 准备工作

7.2.1.1 设施、设备运行前的检查检验应符合GB 50334的相关规定。

7.2.1.2 应进行池内水深测试，检查配水管道、阀门及配水均匀性。

7.2.1.3 应检查基质是否有板结，必要时换填基质。

7.2.1.4 应检查湿地植物是否缺苗、少苗，必要时补种。

7.2.2 运行调试

7.2.2.1 人工湿地系统应按照单体调试、局部联合调试与系统联合试运转的步骤逐步调试，具备条件时，系统联合试运转应以实际进水为介质。

7.2.2.2 人工湿地调试初期应提高运行水位，稳定后水位应降低到正常运行状态。

7.2.2.3 人工湿地调试时应逐步提高进水负荷，直至达到设计负荷。

7.3 运行管理

7.3.1 主体构筑物

7.3.1.1 应按要求对人工湿地主体构筑物进行检查，出现裂缝、沉降、漏水和腐蚀等情况应及时修复。

7.3.1.2 应按要求对人工湿地围护结构和跌水堰等进行检查，发现坑洞或坍塌情况应及时修整。

7.3.2 引排水系统

7.3.2.1 应按要求检查管道、明渠沿线的明漏或地面塌陷情况，对不能满足输水要求和存在安全隐患的管道、明渠，应进行修复和更新改造。管道的维护应符合 CJJ 6 的相关规定，渠道的维护应符合 CJJ 68 的相关规定。

7.3.2.2 应按要求检查井盖、标志装置、各类阀门、设施井等的缺损、堆压情况，出现缺损情况应及时更换与维修，出现堆压应及时清理。

7.3.2.3 应按要求检查管道周围环境变化，以及管网及其附属设施运行安全。

7.3.3 配水、集水系统

7.3.3.1 应按要求检查配水、集水系统管道的堵塞、破损、腐蚀等情况。

7.3.3.2 检查或清理配水、集水系统时应减少或暂停进水，并应缩短停水时间。

7.3.3.3 当水位发生重大变化时，应立即对人工湿地处理系统进行检查，分析原因，及时

处理。

7.3.4 人工湿地基质

7.3.4.1 应按要求巡视人工湿地基质表面情况，如出现漫流现象，应分析原因，及时处理。

7.3.4.2 应按要求检查潜流人工湿地基质层沉降现象，必要时应补充基质至设计高程。

7.3.4.3 可通过监测出水水质发现基质堵塞问题，并可采用强制冲洗等方法缓解。无法缓解时应更换新的基质，并在其上重新种植植物。

7.3.5 植物的养护管理

7.3.5.1 应注意观察植物生长状态，发现缺苗、死苗应及时补苗。

7.3.5.2 应根据植物的种类、生长情况确定植物收割次数，收割时间应在植物休眠期或者枯萎后，收割时应保护表层基质。

7.3.5.3 植物发生病虫害时，应优先采取物理、生物方法进行处理，不得使用农药、除草剂和杀虫剂等。

7.3.6 管理记录

7.3.6.1 应按要求填写人工湿地设备、设施、工艺及生产运行情况记录。

7.3.6.2 应建立电气、仪表和机械设备的维护、维修、电耗、药耗等记录台账。

7.3.6.3 应记录水质检测数据，安装水质在线监测设备的应记录水质在线监测数据。

7.4 运行监测

7.4.1 应按要求监测湿地系统进出水的流量、水位、水温、水质情况等。

7.4.2 人工湿地处理系统进出水水质波动或恶化时，应对人工湿地处理系统各运行单元进行水质监测分析，必要时可增加监测指标、监测点位和监测频率。

7.4.3 应根据水质指标的监测和分析情况，调整人工湿地运行方式及管理措施。

7.4.4 可采用自动控制系统（PLC）实时监控各处理工艺单元运转情况。

7.5 应急管理

7.5.1 运行管理单位应按照 GB/T 29639 规定编制人工湿地污水处理应急预案。

7.5.2 进水水质突发恶化时，应立即停止进水，经检测水质达到进水水质标准后方可进水。

7.5.3 出水水质突发恶化时，应对湿地进水及各处理单元的水质进行检测，分析水质恶化原因，并采取调节进出水水量、延长水力停留时间等措施。

7.5.4 强降雨及强泄洪后，应控制进水水量，打开旁通或排空管道排涝。

7.5.5 应设置雨水溢流口、排水沟渠等排洪设施，以及超越管、溢流井等分流设施。

7.5.6 场站内各工程设施应有安全防护措施，场界应设置安全护栏，并在醒目位置设置安全警示牌。

8 效果评估

8.1 评估指标体系

8.1.1 农村污水人工湿地处理效果可按设施设备利用率、环境效益、能耗物耗、设施设备完好率四个要素进行评估。

8.1.2 农村污水人工湿地处理效果评估宜在正常运行后实施，评估要素与评估指标应符合表 5 的规定，各项评估指标计算可参见附录 6。

表 5 农村污水人工湿地处理效果评价要素与评价指标

评价要素	评价指标
设施设备利用率 (F_1)	运行率 (F_{11})
	平均水力负荷率 (F_{12})
	平均 COD _{Cr} 负荷率 (F_{13})
环境效益 (F_2)	水质综合达标率 (F_{21})
	污染物削减量综合指数 (F_{22})
	污染物消减率综合指数 (F_{23})
能耗物耗 (F_3)	单位污水耗电量 (F_{31})
	单位耗氧污染物耗电量 (F_{32})
设施设备完好率 (F_4)	全部设备完好率 (F_{41})
	主要工艺设备完好率 (F_{42})
	无备用主要工艺设备完好率 (F_{43})
	主要构筑物完好率 (F_{44})

8.2 评估指标参数计算

8.2.1 设施设备利用率 F_1 及各指标分值计算可参照附表 6.1 执行。

8.2.2 环境效益评估 F_2 及各指标分值计算可参照附表 6.2 执行。

8.2.3 能耗物耗 F_3 及各指标分值计算可参照附表 6.3 执行。

8.2.4 设施设备的完好率 F_4 及各指标分值计算可参照附表 6.4 执行。

8.3 评估分值及等级划分

8.3.1 人工湿地处理效果评估总分值可按公式 7 计算：

$$F = 2.0F_1 + 4.0F_2 + 2.0F_3 + 2.0F_4 \quad (\text{公式 7})$$

式中： F —评价总分值；

F_1 —设施设备利用率分值；

F_2 —环境效益分值；

F_3 —能耗物耗分值；

F_4 —设施设备完好率分值。

8.3.2 农村污水人工湿地处理效果综合评价结果可分为优秀、良好、较好、一般和较差五个等级，等级划分可按表 6 执行。

表 6 农村污水人工湿地处理效果综合评价等级划分

评估总分值 (F)	评价等级
$F \geq 90$ 分	优秀
$80 \text{ 分} \leq F < 90 \text{ 分}$	良好
$70 \text{ 分} \leq F < 80 \text{ 分}$	较好
$60 \text{ 分} \leq F < 70 \text{ 分}$	一般
$F < 60$ 分	较差

附录 1

(资料性)

气候分区及其行政区划范围

区代号	分区名称	气候主要指标	辅助指标	各区辖行政区范围
I	严寒地区	1月平均气温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $\leq 25^{\circ}\text{C}$	年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 $\geq 145\text{d}$	黑龙江省、吉林省、西藏自治区全境；辽宁省（沈阳市、抚顺市、本溪市、辽阳市、阜新市、铁岭市、丹东市）；内蒙古自治区大部（巴彦淖尔市除外）；山西省（朔州市、大同市）；河北省（张家口市、承德市）；青海省（海西蒙古族藏族自治州、玉树藏族自治州、海南藏族自治州、果洛藏族自治州、黄南藏族自治州）；甘肃省（酒泉市、嘉峪关市、甘南藏族自治州）；新疆维吾尔自治区（阿勒泰地区、塔城地区、北屯市、铁门关市、双河市、可克达拉市、胡杨河市、克拉玛依市、伊犁哈萨克自治州、石河子市、博尔塔拉蒙古自治州、乌鲁木齐市、五家渠市、昌吉回族自治州、哈密市、吐鲁番市）
II	寒冷地区	1月平均气温 $-10^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $18^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$	年日平均气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的日数 $< 80\text{d}$ ，年日平	天津市、宁夏回族自治区、北京市全境；山东省大部（日照市除外）；陕西省（榆林市、宝鸡市、咸阳市、铜川市、延

			均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 90d~145d	安市)；辽宁省(朝阳市、葫芦岛市、锦州市、盘锦市、大连市、营口市、鞍山市)；河北省大部(张家口市、承德市除外)；甘肃省大部(酒泉市、嘉峪关市、甘南藏族自治州除外)；河南省(安阳市、鹤壁市、濮阳市)；山西省大部(朔州市、大同市除外)；新疆维吾尔自治区(阿克苏地区、阿拉尔市、图木舒克市、巴音郭楞蒙古自治州、克孜勒苏柯尔克孜自治州、喀什地区、和田地区、昆玉市)；青海省(海东市、西宁市、海北藏族自治州)；内蒙古自治区(巴彦淖尔市)
III	夏热冬冷地区	1月平均气温 $0^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$	年日平均气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的日数 40d~110d，年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 0d~90d	上海市、浙江省、江苏省、重庆市、安徽省、湖北省、江西省全境；湖南省大部(衡阳市、郴州市除外)；四川省(成都市、德阳市、绵阳市、乐山市、眉山市、自贡市、内江市、资阳市、泸州市、广元市、遂宁市、宜宾市、南充市、广安市、达州市、巴中市)；陕西省(西安市、渭南市、汉中市、安康市、商洛市)；河南省大部(安阳市、鹤壁市、濮阳市除外)；贵州省(遵义市、铜仁市、黔东南州)；福建省(龙岩市、宁德

				市、南平市、三明市)；甘肃省(陇南市)；山东省(日照市)
IV	夏热冬暖地区	1月平均气温 $>10^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $25^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$	年日平均气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的日数 100d~200d	广东省、广西壮族自治区、海南省、台湾省、香港特别行政区、澳门特别行政区全境；福建省(厦门市、泉州市、福州市、莆田市、漳州市)；云南省(玉溪市)
V	温和地区	1月平均气温 $0^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ ，7月平均气温 $18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$	年日平均气温 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 的日数 0d~90d	遵义市、铜仁市、黔东南苗族侗族自治州除外)；湖南省(衡阳市、郴州市)；云南省大部(玉溪市除外)；四川省(雅安市、攀枝花市、凉山彝族自治州、阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州)

注：a) 如下两类区域，原则上不宜建设人工湿地工程，确有需求时，应充分考虑冬季低温气候条件，需设置必要的保温措施：1) 年均温度 0°C 以下时长6个月的区域，例如黑龙江的大兴安岭地区(加格达奇区)、西藏的山南市(泽当街道)、那曲市；2) 年均温度 0°C 以下时长5个月的区域，例如黑龙江的哈尔滨市、齐齐哈尔市、大庆市、黑河市、伊春市、佳木斯市、鸡西市、鹤岗市、牡丹江市、双鸭山市、七台河市，吉林的长春市、吉林市、辽源市、白山市、松原市、白城市、延吉市，辽宁的铁岭市，内蒙古的呼伦贝尔市(海拉尔区)、乌兰察布市(集宁区)、锡林郭勒盟(锡林浩特市)，青海的海北州、果洛州、玉树州，西藏的阿里地区(噶尔县)。b) 部分城市的部分区域可能属于其它气候分区，可根据实际情况自行判断。

附录 2

(资料性)

人工湿地工艺类型及特点

指标	人工湿地类型			
	表面流 人工湿地	水平潜流 人工湿地	上行垂直流 人工湿地	下行垂直流 人工湿地
水流方式	表面漫流	水平潜流	上行垂直流	下行垂直流
水力与污染物削减负荷	低	较高	高	高
占地面积	大	一般	较小	较小
有机物去除能力	一般	强	强	强
硝化能力	较强	较强	一般	强
反硝化能力	弱	强	较强	一般
除磷能力	一般	较强	较强	较强
堵塞情况	不易堵塞	有轻微堵塞	易堵塞	易堵塞
季节气候影响	大	一般	一般	一般
工程建设费用	低	较高	高	高
构造与管理	简单	一般	复杂	复杂

注：本表引自《人工湿地水质净化技术指南（2021年）》表3。

附录 3

(资料性)

人工湿地主要设计参数表

设计参数		湿地类型		
		表面流人工湿地	水平潜流人工湿地	垂直潜流人工湿地
水力停留时间 (d)	I区	3.0 ~ 20.0	2.0 ~ 5.0	1.5 ~ 4.0
	II区	2.0 ~ 12.0	1.0 ~ 4.0	0.8 ~ 2.5
	III区	2.0 ~ 10.0	1.0 ~ 3.0	0.8 ~ 2.5
	IV区	1.2 ~ 5.0	1.0 ~ 3.0	0.6 ~ 2.5
	V区	1.2 ~ 6.0	1.0 ~ 0.3	0.6 ~ 2.5
表面水力负荷 [m ³ /(m ² d)]	I区	0.01 ~ 0.1	0.2 ~ 0.5	0.3 ~ 0.8
	II区	0.02 ~ 0.2	0.2 ~ 1.0	0.4 ~ 1.2
	III区	0.03 ~ 0.2	0.3 ~ 1.0	0.4 ~ 1.2
	IV区	0.1 ~ 0.5	0.3 ~ 1.0	0.4 ~ 1.5
	V区	0.1 ~ 0.4	0.3 ~ 1.0	0.4 ~ 1.0
化学需氧量 削减负荷 [g/(m ² d)]	I区	0.1 ~ 5.0	1.0 ~ 10.0	1.5 ~ 12.0
	II区	0.5 ~ 5.0	2.0 ~ 12.0	3.0 ~ 15.0
	III区	0.8 ~ 6.0	3.0 ~ 12.0	5.0 ~ 15.0
	IV区	1.2 ~ 6.0	5.0 ~ 12.0	6.0 ~ 15.0
	V区	1.2 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0	6.0 ~ 12.0
氨氮削减负荷 [g/(m ² d)]	I区	0.01 ~ 0.20	0.5 ~ 2.0	0.8 ~ 3.0
	II区	0.02 ~ 0.3	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 4.0
	III区	0.04 ~ 0.5	1.5 ~ 3.0	2.0 ~ 4.0
	IV区	0.08 ~ 0.5	2.0 ~ 3.5	2.5 ~ 4.5
	V区	0.1 ~ 0.5	2.0 ~ 3.0	2.5 ~ 4.0
总氮削减负荷 [g/(m ² d)]	I区	0.02 ~ 2.0	0.4 ~ 5.0	0.6 ~ 6.0
	II区	0.05 ~ 0.5	0.8 ~ 6.0	1.2 ~ 8.0
	III区	0.08 ~ 1.0	1.2 ~ 6.0	1.5 ~ 8.0

	IV区	0.1 ~ 1.5	2.0 ~ 6.0	2.0 ~ 8.0
	V区	0.15 ~ 1.5	2.0 ~ 5.0	2.0 ~ 7.0
总磷削减负荷 [g/(m ² d)]	I区	0.005 ~ 0.05	0.02 ~ 0.2	0.03 ~ 0.2
	II区	0.008 ~ 0.05	0.03 ~ 0.1	0.05 ~ 0.12
	III区	0.01 ~ 0.1	0.04 ~ 0.2	0.06 ~ 0.25
	IV区	0.012 ~ 0.1	0.05 ~ 0.2	0.07 ~ 0.25
	V区	0.015 ~ 0.1	0.05 ~ 0.2	0.06 ~ 0.2

注：本表引自《人工湿地水质净化技术指南（2021年）》表4~表8。

附录 4

(资料性)

常用湿地植物名录

湿地植物推荐表			
气候分区代号	植物名称		
	挺水型	沉水型	浮叶型
全国大部分地区	芦苇 (Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.)、香蒲 (Typha orientalis Presl)、菖蒲 (Acorus calamus L.) 等	狐尾藻 (Myriophyllum verticillatum L.)	睡莲 (Nymphaea tetragona Georgi)、槐叶萍 (Salvinia natans (Linn.) All) 等
I	水葱 (Scirpus validus Vahl)、千屈菜 (Lythrum salicaria L.)、莲 (Nelumbo nucifera Gaertn.)、蒿草 (Kobresia setchwanensis Hand.-Mazz)、苔草 (Carex spp.) 等	眼子菜 (Potamogeton distinctus A. Benn)、菹草 (Potamogeton crispus L.)、杉叶藻 (Hippuris vulgaris L.)、水毛茛 (Batrachium bungei (Steud.) L. Liou)、黑藻 (Hydrilla verticillata (Linn. f.) Royle) 等	菱 (Trapa bispinosa Roxb)
II	黄菖蒲 (Iris pseudacorus L.)、三棱水葱 (Schoenoplectus triqueter (Linnaeus) Palla)、马蹄莲 (Zantedeschia aethiopica (L.) Spreng)、梭鱼草 (Pontederia cordata L.)、荻 (Triarrhena sacchariflora (Maxim.) Nakai)、水蓼 (Polygonum hydropiper L.)、芋 (Colocasia esculenta (L.) Schott)、水仙 (Narcissus tazetta subsp. chinensis (M. Roem.)、黑三棱 (Sparganium stoloniferum (Graebn.) Buch.-Ham. ex Juz.) 等	菹草 (Potamogeton crispus L.)、苦草 (Vallisneria natans (Lour.) Hara)、黑藻 (Hydrilla verticillata (Linn. f.) Royle)、金鱼藻 (Ceratophyllum demersum L.) 等	菱 (Trapa bispinosa Roxb)、芡实 (Euryale ferox Salisb. ex König et Sims)、水鳖 (Hydrocharis dubia (Bl.) Backer) 等
III	美人蕉 (Canna indica L.)、水葱 (Scirpus validus Vahl)、灯芯草 (Juncus effusus L.)、风车草 (Cyperus involucratus Rottboll)、再力花 (Thalia dealbata Fraser)、水芹 (Oenanthe javanica (Bl.) DC)、千屈菜 (Lythrum salicaria L.)、黄菖蒲 (Iris pseudacorus L.)、麦冬 (Ophiopogon japonicus (Linn. f.) Ker-Gawl.)、芦竹 (Arundo donax L.)、水莎草 (Juncellus serotinus) 等	菹草 (Potamogeton crispus L.)、苦草 (Vallisneria natans (Lour.) Hara)、黑藻 (Hydrilla verticillata (Linn. f.) Royle)、金鱼藻 (Ceratophyllum demersum L.)、水车前 (Ottelia alismoides)、竹叶眼子菜 (Potamogeton wrightii Morong) 等	菱 (Trapa bispinosa Roxb)、芡实 (Euryale ferox Salisb. ex König et Sims)、荇菜 (Nymphoides peltata (S. G. Gmelin) Kuntze)、莼菜 (Brasenia schreberi J. F. Gmel.)、萍蓬草 (Nuphar pumilum (Hoffm.) DC.)、水鳖 (Hydrocharis dubia (Bl.) Backer) 等

湿地植物推荐表			
气候分区代号	植物名称		
	挺水型	沉水型	浮叶型
IV	水芹 (<i>Oenanthe javanica</i> (Bl.) DC)、风车草 (<i>Cyperus involucratus</i> Rottboll)、美人蕉 (<i>Canna indica</i> L)、马蹄莲 (<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng)、慈菇 (<i>Sagittaria trifolia</i> L. var. <i>sinensis</i> (Sims.) Makino)、菱草 (<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Stapf)、莲 (<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn.)、假稻 (<i>Leersia japonica</i> (Makino) Honda) 等	眼子菜 (<i>Potamogeton distinctus</i> A. Benn)、黑藻 (<i>Hydrilla verticillata</i> (Linn. f.) Royle)、菹草 (<i>Potamogeton crispus</i> L.)、狐尾藻 (<i>Myriophyllum verticillatum</i> L) 等	荇菜 (<i>Nymphoides peltata</i> (S. G. Gmelin) Kuntze)、萍蓬草 (<i>Nuphar pumilum</i> (Hoffm.) DC.) 等
V	美人蕉 (<i>Canna indica</i> L)、风车草 (<i>Cyperus involucratus</i> Rottboll)、再力花 (<i>Thalia dealbata</i> Fraser)、香根草 (<i>Vetiveria zizanioides</i> (L.) Nash)、花叶芦竹 (<i>Arundo donax</i> var. <i>versicolor</i> Stokes) 等	竹叶眼子菜 (<i>Potamogeton wrightii</i> Morong)、苦草 (<i>Vallisneria natans</i> (Lour.) Hara)、穗花狐尾藻 (<i>Myriophyllum spicatum</i> L.)、黑藻 (<i>Hydrilla verticillata</i> (Linn. f.) Royle)、龙舌草 (<i>Ottelia alismoides</i> (L.) Pers.) 等	荇菜 (<i>Nymphoides peltata</i> (S. G. Gmelin) Kuntze)、睡莲 (<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi) 等

附录 5

(资料性)

人工湿地常用基质名录

序号	基质名称	基质特征
1	砾石	吸附容量不高，氮磷去除能力一般
2	河砂	透水性好，比表面积大，吸附性好
3	卵石	强度高、比表面积大，吸附性好
4	碎石	透水性好，吸磷能力强
5	沸石	吸附性强，对氨氮吸附能力强，浸水后容易压实和堵塞
6	陶粒	比表面积大，吸附能力强，除磷效果好
7	火山岩	比表面积大，生物稳定性好、水流阻力小
8	石灰石	除磷能力强，显碱性，需控制其填充比例
9	高炉矿渣	碱性矿渣孔隙率大，有机物去除能力强
10	无烟煤	除磷能力强
11	石英砂	表面积大，强度高，吸附能力好
12	钢渣	吸附容量大，除磷效果好
13	海绵铁	吸附容量大，除磷效果好
14	活性炭	比表面积大，吸附能力强，挂膜效果好

附录 6

(资料性)

人工湿地污水处理效果评估指标计算公式及参数说明 (附表 6.1 ~ 附表 6.4)

附表 6.1 设施设备利用率评价指标计算公式及参数说明

指标名称		指标计算公式及参数说明	评分区间	得分
设 施 设 备 利 用 率 F_1	设施运行 率 F_{11}	$F_{11} = \frac{D_{wo}}{t}$ F_{11} 为运行率(%); D_{wo} 为污水 处理设施有效运行天数(d); t 为评价周期日历天数(d);	$80\% \leq F_{11} < 90\%$	$FF_{11} = \frac{2 \times (F_{11} - 80\%)}{10\%}$
			$80\% \leq F_{11} < 95\%$	$FF_{11} = 2 + \frac{2 \times (F_{11} - 90\%)}{5\%}$
			$95\% \leq F_{11} \leq 100\%$	$FF_{11} = 4 + \frac{6 \times (F_{11} - 95\%)}{5\%}$
	平均水力 负荷率 F_{12}	$F_{12} = \sum_{i=1}^t \frac{Q_{dai}}{Q_{dd} \times t}$ F_{12} 为平均水力负荷率(%); Q_{da} 为实际日污水处理量 (m^3/d); Q_{dd} 为设计日污水处 理量(m^3/d); 当评价周期内设计 能力发生变化时, 应按能力变 化前后时间段分别计算并相 加。	$60\% \leq F_{12} < 70\%$	$FF_{12} = \frac{5 \times (F_{12} - 60\%)}{10\%}$
			$70\% \leq F_{12} < 85\%$	$FF_{12} = 5 + \frac{4 \times (F_{12} - 70\%)}{15\%}$
			$85\% \leq F_{12} \leq 100\%$	$FF_{12} = 9 + \frac{1 \times (F_{12} - 85\%)}{15\%}$
			$F_{12} > 100\%$	$FF_{12} = 10$
	平均 COD_{Cr} 负 荷率 F_{13}	$F_{13} = \sum_{i=1}^t \frac{COD_{rai} \times Q_{dai}}{COD_{rd} \times Q_{dd} \times t}$ F_{13} 为评价周期平均 COD_{Cr} 负 荷率(%); COD_{ra} 为实际进水 COD_{Cr} 浓度的日均值(mg/L); COD_{rd} 为进水 COD_{Cr} 浓度的设 计值(mg/L)。	$40\% \leq F_{13} < 60\%$	$FF_{13} = \frac{5 \times (F_{13} - 40\%)}{20\%}$
			$60\% \leq F_{13} < 75\%$	$FF_{13} = 5 + \frac{3 \times (F_{13} - 60\%)}{15\%}$
			$75\% \leq F_{13} \leq 100\%$	$FF_{13} = 8 + \frac{2 \times (F_{13} - 75\%)}{25\%}$
			$F_{13} > 100\%$	$FF_{13} = 10$
	$F_1 = 0.4FF_{11} + 0.3FF_{12} + 0.3FF_{13}$			
注意: 计算设施设备利用率时, 设施设备运行率不应小于 80%, 平均水力负荷率不 应小于 60%, 平均 COD_{Cr} 负荷率不应小于 40%。				

附表 6.2 环境效益评价指标计算公式及参数说明

指标名称	指标计算公式及参数说明	评分区间	得分
水质综合达标率 F_{21}	$F_{21} = \frac{D_{ws}}{D_{wo}}$ $D_{ws} = 0.3D_{COD} + 0.1D_{BOD} + 0.1D_{SS} + 0.3D_{NH_4} + 0.1D_{TN} + 0.1D_{TP}$ F_{21} 为水质综合达标率(%); D_{ws} 为水质有效综合达标天数(d); D_{wo} 为污水处理设施有效运行天数(d); D_{COD} 为 COD_{Cr} 的达标天数(d); D_{BOD} 为 BOD_5 的达标天数(d); D_{SS} 为 SS 的达标天数(d); D_{NH_4} 为 NH_4^+-N 的达标天数(d); D_{TN} 为 TN 的达标天数(d); D_{TP} 为 TP 的达标天数(d)。	$F_{21} < 70\%$	$FF_{21} = 0$
		$70\% \leq F_{21} < 80\%$	$FF_{21} = \frac{6 \times (F_{21} - 70\%)}{10\%}$
		$80\% \leq F_{21} < 90\%$	$FF_{21} = 6 + \frac{3 \times (F_{21} - 80\%)}{10\%}$
		$90\% \leq F_{21} \leq 100\%$	$FF_{21} = 9 + \frac{1 \times (F_{21} - 90\%)}{10\%}$
环境效益评价 F_2	污染物减量综合指数 F_{22} $F_{22} = 0.3M_{COD} + 0.1M_{BOD} + 0.1M_{SS} + 0.3M_{NH_4} + 0.1M_{TN} + 0.1M_{TP}$ F_{22} 为污染物削减量综合指数; M_{COD} 为 COD_{Cr} 的削减量指数; M_{BOD} 为 BOD_5 的削减量指数; M_{SS} 为 SS 的削减量指数; M_{NH_4} 为 NH_4^+-N 的削减量指数; M_{TN} 为 TN 的削减量指数; M_{TP} 为 TP 的削减量指数; 各污染物削减量指数根据各污染物平均削减量取值, 并应符合附表 6.2.1 的规定。	$0 \leq F_{22} < 1.0$	$FF_{22} = 10 \times F_{22}$
污染物削减率综合指数 F_{23}	$F_{23} = 0.3E_{COD} + 0.1E_{BOD} + 0.1E_{SS} + 0.3E_{NH_4} + 0.1E_{TN} + 0.1E_{TP}$ F_{23} 为污染物削减率综合指数; E_{COD} 为 COD_{Cr} 的削减率指数; E_{BOD} 为 BOD_5 的削减率指数; E_{SS} 为 SS 的削减率指数; E_{NH_4} 为 NH_4^+-N 的削减率指数; E_{TN} 为 TN 的削减率指数; E_{TP} 为 TP 的削减率指数; 各污染物削减率指数的取值应符合附表 6.2.2 的规定。	$0 \leq F_{23} < 1.0$	$FF_{23} = 10 \times F_{23}$
$F_2 = 0.4FF_{21} + 0.3FF_{22} + 0.3FF_{23}$			

附表 6.2.1 各污染物削减量指数取值及平均削减量计算公式

名称	计算公式及参数说明	各污染物平均削减量 (mg/L)	各污染物削减量指数
COD _{Cr} 平均削减量	$\Delta COD_{Cr} = \frac{\sum_{i=1}^t [(COD_{rai} - COD_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$ ΔCOD_{Cr} 为 COD _{Cr} 平均削减量(mg/L); COD_{ea} 为实际出水 COD _{Cr} 日均浓度 (mg/L); COD_{ra} 为实际进水 COD _{Cr} 浓度的日均值(mg/L); Q_{da} 为实际日污水处理量(m ³ /d)	$\Delta COD_{Cr} < 50$	$M_{COD} = 0.1$
		$50 \leq \Delta COD_{Cr} < 100$	$M_{COD} = 0.5$
		$100 \leq \Delta COD_{Cr} < 150$	$M_{COD} = 0.6$
		$150 \leq \Delta COD_{Cr} < 200$	$M_{COD} = 0.7$
		$200 \leq \Delta COD_{Cr} < 250$	$M_{COD} = 0.8$
		$250 \leq \Delta COD_{Cr} < 300$	$M_{COD} = 0.9$
		$\Delta COD_{Cr} \geq 300$	$M_{COD} = 1.0$
BOD ₅ 平均削减量	$\Delta BOD_5 = \frac{\sum_{i=1}^t [(BOD_{rai} - BOD_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$ ΔBOD_5 —BOD ₅ 平均削减量(mg/L); BOD_{ra} —实际进水 BOD ₅ 日均浓度(mg/L); BOD_{ea} —实际出水 BOD ₅ 日均浓度(mg/L)。	$\Delta BOD_5 < 20$	$M_{BOD} = 0.1$
		$20 \leq \Delta BOD_5 < 40$	$M_{BOD} = 0.5$
		$40 \leq \Delta BOD_5 < 60$	$M_{BOD} = 0.6$
		$60 \leq \Delta BOD_5 < 90$	$M_{BOD} = 0.7$
		$90 \leq \Delta BOD_5 < 120$	$M_{BOD} = 0.8$
		$120 \leq \Delta BOD_5 < 140$	$M_{BOD} = 0.9$
		$\Delta BOD_5 \geq 140$	$M_{BOD} = 1.0$
SS 平均削减量	$\Delta SS = \frac{\sum_{i=1}^t [(SS_{rai} - SS_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$ ΔSS 为 SS 平均削减量(mg/L); SS_{ra} 为实际进水 SS 日均浓度(mg/L); SS_{ea} 为实际出水 SS 日均浓度(mg/L)。	$\Delta SS < 30$	$M_{SS} = 0.1$
		$30 \leq \Delta SS < 70$	$M_{SS} = 0.5$
		$70 \leq \Delta SS < 90$	$M_{SS} = 0.6$
		$90 \leq \Delta SS < 130$	$M_{SS} = 0.7$
		$130 \leq \Delta SS < 170$	$M_{SS} = 0.8$
		$170 \leq \Delta SS < 200$	$M_{SS} = 0.9$
		$\Delta SS \geq 200$	$M_{SS} = 1.0$
NH ₄ ⁺ -N 平均削减量	$\Delta NH_4^+ - N = \frac{\sum_{i=1}^t [(NH_4^+ - N_{rai} - NH_4^+ - N_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$ $\Delta NH_4^+ - N$ 为 NH ₄ ⁺ -N 平均削减量(mg/L); $NH_4^+ - N_{ra}$ 为实际进水 NH ₄ ⁺ -N 日均浓度 (mg/L); $NH_4^+ - N_{ea}$ 为实际出水 NH ₄ ⁺ -N 日均浓度 (mg/L)。	$\Delta NH_4^+ - N < 5$	$M_{NH4} = 0.1$
		$5 \leq \Delta NH_4^+ - N < 10$	$M_{NH4} = 0.5$
		$10 \leq \Delta NH_4^+ - N < 15$	$M_{NH4} = 0.6$
		$15 \leq \Delta NH_4^+ - N < 20$	$M_{NH4} = 0.7$
		$20 \leq \Delta NH_4^+ - N < 25$	$M_{NH4} = 0.8$
		$25 \leq \Delta NH_4^+ - N < 30$	$M_{NH4} = 0.9$
		$\Delta NH_4^+ - N \geq 30$	$M_{NH4} = 1.0$
TN 平均	$\Delta TN = \frac{\sum_{i=1}^t [(TN_{rai} - TN_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$	$\Delta TN < 5$	$M_{TN} = 0.1$

削减量	ΔTN 为 TN 平均削减量(mg/L); TN_{ra} 为实际进水 TN 日均浓度(mg/L); TN_{ea} 为实际出水 TN 日均浓度(mg/L)。	$5 \leq \Delta TN < 10$	$M_{TN} = 0.5$
		$10 \leq \Delta TN < 15$	$M_{TN} = 0.6$
		$15 \leq \Delta TN < 20$	$M_{TN} = 0.7$
		$20 \leq \Delta TN < 25$	$M_{TN} = 0.8$
		$25 \leq \Delta TN < 30$	$M_{TN} = 0.9$
		$\Delta TN \geq 30$	$M_{TN} = 1.0$
TP 的平 均削减量	$\Delta TP = \frac{\sum_{i=1}^t [(TP_{rai} - TP_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (Q_{dai})}$ ΔTP 为 TP 平均削减量(mg/L); TP_{ra} 为实际进水 TP 日均浓度(mg/L); TP_{ea} 为实际出水 TP 日均浓度(mg/L)。	$\Delta TP < 1.5$	$M_{TP} = 0.1$
		$1.5 \leq \Delta TP < 2.0$	$M_{TP} = 0.5$
		$2.0 \leq \Delta TP < 3.0$	$M_{TP} = 0.6$
		$3.0 \leq \Delta TP < 3.5$	$M_{TP} = 0.7$
		$3.5 \leq \Delta TP < 4.0$	$M_{TP} = 0.8$
		$4.0 \leq \Delta TP < 4.5$	$M_{TP} = 0.9$
		$\Delta TP \geq 4.5$	$M_{TP} = 1.0$

附表 6.2.2 各污染物平均削减率计算公式及削减率指数取值

名称	计算公式及参数说明	各污染物平均削减率 (%)	各污染物削减率指数
COD _{Cr} 平均削减率	$\eta COD_{Cr} = \frac{\sum_{i=1}^t [(COD_{rai} - COD_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (COD_{rai} \times Q_{dai})}$ ηCOD_{Cr} 为 COD _{Cr} 平均削减率	$\eta COD_{Cr} < 70$	E _{COD} = 0.1
		$70 \leq \eta COD_{Cr} < 75$	E _{COD} = 0.5
		$75 \leq \eta COD_{Cr} < 80$	E _{COD} = 0.6
		$80 \leq \eta COD_{Cr} < 85$	E _{COD} = 0.7
		$85 \leq \eta COD_{Cr} < 90$	E _{COD} = 0.8
		$90 \leq \eta COD_{Cr} < 95$	E _{COD} = 0.9
		$\eta COD_{Cr} \geq 95$	E _{COD} = 1.0
BOD ₅ 平均削减率	$\eta BOD_5 = \frac{\sum_{i=1}^t [(BOD_{rai} - BOD_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (BOD_{rai} \times Q_{dai})}$ ηBOD_5 为 BOD ₅ 平均削减率	$\eta BOD_5 < 80$	E _{BOD} = 0.1
		$80 \leq \eta BOD_5 < 84$	E _{BOD} = 0.5
		$84 \leq \eta BOD_5 < 87$	E _{BOD} = 0.6
		$87 \leq \eta BOD_5 < 90$	E _{BOD} = 0.7
		$90 \leq \eta BOD_5 < 95$	E _{BOD} = 0.8
		$95 \leq \eta BOD_5 < 97$	E _{BOD} = 0.9
		$\eta BOD_5 \geq 97$	E _{BOD} = 1.0
SS 平均削减率	$\eta SS = \frac{\sum_{i=1}^t [(SS_{rai} - SS_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (SS_{rai} \times Q_{dai})}$ ηSS 为 SS 平均削减率	$\eta SS < 80$	E _{SS} = 0.1
		$80 \leq \eta SS < 84$	E _{SS} = 0.5
		$84 \leq \eta SS < 87$	E _{SS} = 0.6
		$87 \leq \eta SS < 90$	E _{SS} = 0.7
		$90 \leq \eta SS < 95$	E _{SS} = 0.8
		$95 \leq \eta SS < 97$	E _{SS} = 0.9
		$\eta SS \geq 97$	E _{SS} = 1.0
NH ₄ ⁺ -N 平均削减率	$\eta NH_4^+ - N = \frac{\sum_{i=1}^t [(NH_4^+ - N_{rai} - NH_4^+ - N_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (NH_4^+ - N_{rai} \times Q_{dai})}$ $\eta NH_4^+ - N$ 为 NH ₄ ⁺ -N 平均削减率	$\eta NH_4^+ - N < 65$	E _{NH4} = 0.1
		$65 \leq \eta NH_4^+ - N < 70$	E _{NH4} = 0.5
		$70 \leq \eta NH_4^+ - N < 75$	E _{NH4} = 0.6
		$75 \leq \eta NH_4^+ - N < 80$	E _{NH4} = 0.7
		$80 \leq \eta NH_4^+ - N < 85$	E _{NH4} = 0.8
		$85 \leq \eta NH_4^+ - N < 90$	E _{NH4} = 0.9
		$\eta NH_4^+ - N \geq 90$	E _{NH4} = 1.0
TN 平均削减率	$\eta TN = \frac{\sum_{i=1}^t [(TN_{rai} - TN_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (TN_{rai} \times Q_{dai})}$ ηTN 为 TN 平均削减率	$\eta TN < 45$	E _{TN} = 0.1
		$45 \leq \eta TN < 50$	E _{TN} = 0.5
		$50 \leq \eta TN < 55$	E _{TN} = 0.6

		$55 \leq \eta TN < 60$	$E_{TN} = 0.7$
		$60 \leq \eta TN < 70$	$E_{TN} = 0.8$
		$70 \leq \eta TN < 80$	$E_{TN} = 0.9$
		$\eta TN \geq 80$	$E_{TN} = 1.0$
TP 平均 削减率	$\eta TP = \frac{\sum_{i=1}^t [(TP_{rai} - TP_{eai}) \times Q_{dai}]}{\sum_{i=1}^t (TP_{rai} \times Q_{dai})}$ ηTP 为 TP 平均削减率	$\eta TP < 70$	$E_{TP} = 0.1$
		$70 \leq \eta TP < 75$	$E_{TP} = 0.5$
		$75 \leq \eta TP < 80$	$E_{TP} = 0.6$
		$80 \leq \eta TP < 85$	$E_{TP} = 0.7$
		$85 \leq \eta TP < 90$	$E_{TP} = 0.8$
		$90 \leq \eta TP < 95$	$E_{TP} = 0.9$
		$\eta TP \geq 95$	$E_{TP} = 1.0$

附表 6.3 能耗物耗评价指标计算公式及参数说明

指标名称		指标计算公式及参数说明	评分区间	得分
能耗物耗评价 F_3	单位 污水 耗电 量 F_{31}	$F_{31} = \frac{\sum_{i=1}^{tt}[E_{mai}]}{\sum_{i=1}^t[Q_{dai}]}$ F_{31} 为单位污水耗电量(kMh/m ³); E_{ma} 为月度电耗(kMh); Q_{da} 为实际日污水处理量(m ³ /d); tt 为评价周期日历月数。	$F_{31} > 0.50$	$FF_{31} = 1.0$
			$0.40 < F_{31} \leq 0.50$	$FF_{31} = 5.0$
			$0.35 < F_{31} \leq 0.40$	$FF_{31} = 6.0$
			$0.30 < F_{31} \leq 0.35$	$FF_{31} = 7.0$
			$0.25 < F_{31} \leq 0.30$	$FF_{31} = 8.5$
			$0.20 < F_{31} \leq 0.25$	$FF_{31} = 9.5$
			$F_{31} \leq 0.20$	$FF_{31} = 10.0$
	单位 耗氧 污染 物耗 电量 F_{32}	$F_{32} = \frac{\sum_{i=1}^{tt}[E_{mai}]}{\{\sum_{i=1}^t[(BOD_{rai} - BOD_{eai}) \times Q_{dai}] + 3.5 \times \sum_{i=1}^t[(NH_4^+ - N_{rai} - NH_4^+ - N_{eai}) \times Q_{dai}]\} \times 10^{-3}}$ 式中: F_{32} 为平均位耗氧污染物耗电量(kMh/kg); E_{ma} 为月度电耗(kMh); Q_{da} 为实际日污水处理量(m ³ /d); tt 为评价周期日历月数。	$F_{32} > 2.0$	$FF_{32} = 1.0$
			$1.70 < F_{32} \leq 2.0$	$FF_{32} = 5.0$
			$1.50 < F_{32} \leq 1.70$	$FF_{32} = 6.0$
			$1.30 < F_{32} \leq 1.50$	$FF_{32} = 7.0$
			$1.10 < F_{32} \leq 1.30$	$FF_{32} = 8.0$
			$F_{32} \leq 1.10$	$FF_{32} = 10.0$
$F_3 = 0.5FF_{31} + 0.5FF_{32}$				

附表 6.4 设施设备完好率评价指标计算公式及参数说明

指标名称		指标计算公式及参数说明	评分区间	得分	
设 施 设 备 完 好 率 F_4	全部设备完好率 F_{41}	$F_{41} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} [N_{tai}]}{n_1 \times t \times 24}$ 式中： F_{41} 为全部设备完好率(%)； N_{ta} 为某一设备评价周期完好时数(h)； n_1 为全部设备总台数； t 为评价周期日历年数(d)。	$F_{41} < 70\%$	$FF_{41} = 0$	
			$70\% \leq F_{41} < 80\%$	$FF_{41} = \frac{4 \times (F_{41} - 70\%)}{10\%}$	
			$80\% \leq F_{41} < 90\%$	$FF_{41} = 5 + \frac{3 \times (F_{41} - 80\%)}{10\%}$	
			$90\% \leq F_{41} \leq 100\%$	$FF_{41} = 8 + \frac{2 \times (F_{41} - 90\%)}{10\%}$	
	主要工艺设备完好率 F_{42}	$F_{42} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} [N_{mai}]}{n_2 \times t \times 24}$ 式中： F_{42} 为主要工艺设备完好率(%)； N_{ma} 为某一主要工艺设备评价周期完好时数(h)； n_2 为主要工艺设备总台数； t 为评价周期日历年数(d)。	$F_{42} < 60\%$	$FF_{42} = 0$	
			$60\% \leq F_{42} < 80\%$	$FF_{42} = \frac{7 \times (F_{42} - 60\%)}{20\%}$	
			$80\% \leq F_{42} < 90\%$	$FF_{42} = 7 + \frac{2 \times (F_{42} - 80\%)}{20\%}$	
			$90\% \leq F_{42} \leq 100\%$	$FF_{42} = 9 + \frac{1 \times (F_{42} - 90\%)}{10\%}$	
	无备用主要工艺设备完好率 F_{43}	$F_{43} = \frac{\sum_{i=1}^{n_3} [N_{nai}]}{n_3 \times t \times 24}$ 式中： F_{43} 为无备用主要工艺设备完好率(%)； N_{na} 为某一无备用主要工艺设备评价周期完好时数(h)； n_3 为无备用主要工艺设备总台数； t 为评价周期日历年数(d)。	$F_{43} < 80\%$	$FF_{43} = 0$	
			$80\% \leq F_{43} < 90\%$	$FF_{43} = \frac{6 \times (F_{43} - 80\%)}{10\%}$	
			$90\% \leq F_{43} \leq 100\%$	$FF_{43} = 6 + \frac{4 \times (F_{43} - 90\%)}{10\%}$	
	主要构筑物完好率 F_{44}	$F_{44} = \frac{\sum_{i=1}^{n_4} [N_{cai}]}{n_4 \times t \times 24}$ 式中： F_{44} 为主要构筑物完好率(%)； N_{ca} 为某一主要构筑物评价周期完好时数(h)； n_4 为主要构筑物总座数； t 为评价周期日历年数(d)。	$F_{44} < 80\%$	$FF_{44} = 0$	
			$80\% \leq F_{44} < 90\%$	$FF_{44} = \frac{6 \times (F_{44} - 80\%)}{10\%}$	
			$90\% \leq F_{44} \leq 100\%$	$FF_{44} = 6 + \frac{4 \times (FF_{44} - 90\%)}{10\%}$	
	$F_4 = 0.2FF_{41} + 0.3FF_{42} + 0.4FF_{43} + 0.1FF_{44}$				