



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX/ISO 21939-1:2019

水再利用工业废水处理的能耗计算与表达 方法 第1部分：生物法过程

A method to calculate and express energy consumption of industrial wastewater treatment for the purpose of water reuse—Part 1: Biological processes

(ISO 21939-1:2019, IDT)

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语、定义和缩略语 1

4 能耗表达与归一化 2

 4.1 能耗指标 2

 4.2 能耗计算 3

5 能耗的组分贡献 3

 5.1 总则 3

 5.2 系统组成清单 4

6 不同工艺条件的校正 5

 6.1 总则 5

 6.2 温度校正 5

 6.3 大气压校正 5

 6.4 废水类型 6

附录 A（资料性） 公式和计算参考文献 7

附录 B（资料性） 计算示例 8

参考文献 11

前 言

本文件按照GB/T 1.2—2020《标准化工作导则 第2部分：以ISO/IEC标准化文件为基础的标准化文件起草规则》的规定起草。

本文件等同采用ISO 21939-1:2019《水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法 第1部分：生物法过程》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国水再利用标准化技术委员会（SAC/TC 618）提出并归口。

本文件起草单位：中国标准化研究院、南京大学、宜兴市产品质量和食品安全检验检测中心（宜兴市计量检定测试所）、南京大学宜兴环保研究院、河南工业大学、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

本文件主要起草人：任洪强、耿金菊、张蕊、钟敏、于清淼、马思佳、王庆、万东锦、白岩、陆佳怡、邵莹、范怀蒙、郭新茹、黄宇、陈旭辉、刘晓民、杨耀天。

水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法 第1部分： 生物法过程

1 范围

本文件规定了工业废水生物处理系统能耗定量表征的通用原则，并提供了指导意见。本文件不适用于污染物去除性能、工艺可靠性的评价，也不作为废水处理系统选型时需考虑的其他因素。

本文件包括生物处理系统的以下子系统：

- 生物反应器，可采用悬浮生长工艺、固定膜工艺或两者组合的形式，包括厌氧、缺氧、好氧单一或其组合池体和功能区；
- 固液分离工艺，如沉淀、气浮或膜过滤，用于废水在进入后续工艺前的澄清处理，并可包括将分离出的固体作为污泥回流至生物反应器的过程；
- 各种泵、鼓风机和搅拌器，用于各个子系统内部及之间的水循环、搅拌和供气；
- 处理过程中的水体加热或冷却设备。

本文件不包括生物处理系统的以下子系统：

- 废水供水泵；
- 预处理系统，包括预处理和一级处理工艺，如格栅、沉淀、溶气气浮、化学氧化、油分离等；
- 后处理工艺，如消毒、脱盐、离子交换、污泥处理处置系统等；
- 厂区照明或办公运行所涉及的任何能耗；
- 过程中的能量回收，如厌氧反应器产生的沼气。

过滤工艺有时属于生物处理系统的一部分，有时又属于后处理工艺的一部分，在本文件中会单独列出。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 20670 水再利用 术语（Water reuse — Vocabulary）

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

ISO 20670界定的术语和定义适用于本文件。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

A²O：厌氧-缺氧-好氧废水处理工艺（Anaerobic-anoxic-oxic wastewater treatment process）

BOD₅：五日生化需氧量（Bio-chemical oxygen demand (5 days)）

COD：化学需氧量（Chemical oxygen demand）

DAF: 溶解空气气浮 (Dissolved air flotation)
DO: 溶解氧 (Dissolved oxygen)
DGF: 溶解气体气浮 (Dissolved gas flotation)
MBR: 膜生物反应器 (Membrane bio-reactor)
NEC: 归一化能耗 (Normalized energy consumption)
NO₂-N: 亚硝态氮 (Nitrite nitrogen)
NO₃-N: 硝态氮 (Nitrate nitrogen)
NOR: 净可氧化物质量去除量 (Net oxidizable mass removed)
TN: 总氮 (Total nitrogen)
VFD: 变频驱动 (Variable frequency drive)
RBC: 生物转盘 (Rotating biological contactor)
TF: 滴滤池 (Trickling filter)
TKN: 总凯氏氮 (Total Kjeldahl nitrogen)
VSS: 挥发性悬浮固体 (Volatile suspended solids)

4 能耗表达与归一化

4.1 能耗指标

下列内容为4.2条中计算所需参数的说明。

4.1.1 NEC 应以单位净可氧化物质量去除所消耗的能量表示。

4.1.2 NOR 应包括:

- 去除的 COD;
- 去除的 TKN;
- 生成的硝酸盐 (或减去硝酸盐去除量)。

4.1.3 指标所含组分应按照其需氧量进行折算。依据附录 A 及参考文献[1]、[2]和[5], 应采用以下折算原则:

- COD 去除量应乘以氧当量系数 1.0;
 - 设计计算时, 污泥 COD 浓度应按污泥 VSS 浓度的 1.42 倍计算 (见参考文献[8]、[12]及附录 A)。本文件计算所采用的污泥 VSS 浓度应与工艺设计值保持一致。污泥成分的工艺设计值可按照常规设计程序计算 (见参考文献[8]及附录 A);
 - TKN 去除量应乘以氧当量系数 1.71 (对应转化为氮气的净氧当量, 与具体反应路径无关);
- 注: 未转化为零价氮的TKN应按硝酸盐和亚硝酸盐计入, 折算系数如下。
- 设计计算时, 污泥 TKN 浓度应按污泥 VSS 浓度的 12%计算;
 - 硝态氮去除量或生成量应分别乘以系数-2.86、2.86;
 - 亚硝态氮去除量或生成量应分别乘以系数-1.71、1.71。

4.1.4 用于 NOR 计算的各组分日去除负荷应按公式 (1) 计算, 即系统进水负荷减去出水负荷和污泥排出负荷, 其中负荷定义为浓度与流量的乘积。

4.1.5 用于负荷计算的浓度和流量数据应具有代表性, 流量应采用日平均流量。应注意避免使用明显偏离典型值的数据, 具体可参见 ISO 5667-10。

4.1.6 NEC 能耗指标应以公制单位表示: 千瓦时每千克 NOR (kWh/kg NOR)。

4.1.7 所有计算和系数均应采用公制单位, 浓度统一采用毫克每升(mg/L), 流量采用立方米每天(m³/d)。

4.1.8 NEC 计算应采用实际日平均功率, 实际日平均功率单位为千瓦 (kW)。电耗宜按要求通过电能

表测量，电能表安装在 5.2 条所界定生物处理系统全部组件的总进线处。

4.1.9 应注明所有数据是来自实际运行设施的测量值，还是根据设计参数得到的计算值。

4.1.10 此外，宜注明结果所对应的废水类型，废水类型参见 ISO 22447。

4.1.11 NEC 可按平均工况、典型工况或峰值工况计算。按峰值工况计算时，应在结果中予以注明。

4.2 能耗计算

废水生物处理系统能耗的基本计算公式如下：

$$LR_i = \frac{Q_{\text{进水}} \times C_{i,\text{进水}} - Q_{\text{出水}} \times C_{i,\text{出水}} - Q_{\text{污泥}} \times C_{i,\text{污泥}}}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$Q_{\text{进水}}$ ——生物处理系统进水日平均流量，单位为立方米每天（m³/d）；

$Q_{\text{出水}}$ ——生物处理系统出水日平均流量，单位为立方米每天（m³/d）；

$Q_{\text{污泥}}$ ——生物处理系统污泥日平均流量，单位为立方米每天（m³/d）；

C_i ——组分*i*（COD、TKN、NO₃-N、NO₂-N、DO）的浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

LR_i ——组分*i*的日去除负荷，单位为千克每天（kg/d）。

注：关于生物处理系统的日平均流量计算，流量及所有浓度数据均不包含（剔除）任何环流，但应包括（计入）滤池反冲洗、污泥处理操作的回流水等。换言之：用于计算 LR_i 的流量和浓度必须包括滤池反冲洗及污泥处理产生的回流。

$$NOR = LR_{\text{COD}} \times 1.0 + LR_{\text{TKN}} \times 1.71 - LR_{\text{NO}_3\text{-N}} \times 2.86 - LR_{\text{NO}_2\text{-N}} \times 1.71 - LR_{\text{DO}} \times 1.0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

NOR ——净可氧化物质质量去除量，单位为千克每天（kg/d）。

$$NEC = \frac{W \times 24}{NOR} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

W ——功率，单位为千瓦（kW）。

公式（1）~公式（3）的计算示例见附录B。

5 能耗的组分贡献

5.1 总则

在工程设计计算中，通常根据经验或文献建议采用不同的安全系数。但在本文件所有关于NEC的设计计算中，安全系数应取1.0（即不考虑安全系数）。

5.1.1 稳态条件

测量应在系统无正向或负向累积的条件下进行。为避免将过渡阶段误报为代表性结果，测量期间系统的总体情况不宜呈单调变化趋势，而宜保持稳定或在平均值附近波动。一般而言，在测量期间系统的波动宜处于正常范围，不宜出现异常波动。

5.1.2 流量的确定

日去除负荷（ LR_i ）的计算应采用代表性流量，该流量应与污染物浓度计算采用相同的平均值基准。代表性流量应为下列内容之一：

——单位时间实际进水量（输入系统的水体体积）；

——单位时间设计进水量（输入系统的水体体积）。

系统计算时段应选择以下情况中最合适的：

——单日；

——水力停留时间；

——完整运行周期。

上述计算方法适用于连续流工艺和序批式工艺。

在计算 LR_i 时，应采集或采用与污染物浓度数据计算相同时间段的流量数据。

在选择平均时段时，宜考虑运行系统测量时的波动和变化情况。关于波动工况的特别说明，另见

5.1.1。

5.1.3 可变能耗计算

VFD或间歇式设备的能耗计算（例如在系统设计阶段计算）宜基于平均值。

5.1.4 氧化剂投加量核算

氧化剂（如纯氧或硝酸盐）的投加量应与计算结果一并报告。理论上，由于化学氧化作用，所投加药剂的氧化当量应从NOR中扣除。

注：氧化剂投加负荷计入NOR的计算方法待后续规定。

5.1.5 物理化学分离预处理过程

系统内不包括物理化学分离预处理过程，因此NOR计算所涉各组分的浓度均宜在预处理后测定。例如：格栅、溶气气浮和初沉池等设施均不纳入系统范围。此排除原则基于：预处理工艺仅实现了部分污染物的分离与排放，并未降低氧化需求。若纳入这些工艺，需从NOR中扣除筛渣、浮渣、初沉污泥等分离排出负荷，将不必要地使计算复杂化。

上述要求同样适用于沉淀池、沉淀室等会积存固体物且需定期清掏的预处理系统。在此情况下，宜特别关注该类系统出水水质，由于受消化水解过程影响，其出水水质组成可能与进水存在差异。

5.2 系统组成清单

5.2.1 总则

5.2.2至5.2.8条所列废水处理系统各组件的能耗应计入NEC的计算或测量范围。

5.2.2 曝气及搅拌曝气一体化设备

包括服务于本文件界定范围内生物处理系统的所有电动设备：鼓风机、压缩机、表面曝气机、自吸式曝气机等（含生物转盘驱动装置）。

5.2.3 搅拌设备

包括本文件界定范围内生物处理系统厌氧段、缺氧段及好氧段使用的各类搅拌器及其驱动装置。

5.2.4 固液分离设备

所有生物处理沉淀池及中间沉淀池（如接触稳定工艺）的刮泥机与撇渣系统驱动装置、DAF或DGF固液分离工艺中的压缩机、循环泵及撇渣系统以及本文件界定范围内服务于生物处理系统固液分离的其他任何机电设备。

与 MBR 膜组件运行直接相关的机电系统，例如抽吸泵、反洗泵及加药泵。MBR 系统的能耗值应标注为“含深度过滤”。

经固液分离单元后的深度过滤工艺能耗可计入总工艺能耗。在此情况下：

——应包含介质过滤器的进水泵、反冲洗泵及气洗压缩机能耗；

——结果应标注“含深度过滤”。

5.2.5 内回流泵

生物处理系统内用于混合液回流的所有泵，例如A²O、MLE、Bardenpho、UCT、VIP等工艺中用于搅拌或反硝化的泵。

5.2.6 污泥回流设备

本文件界定范围内所有沉淀池或膜分离工艺的污泥泵。

5.2.7 其他泵

如滴滤池的回流泵。

5.2.8 气动泵送和/或搅拌设备

上述任何组件的气动泵送和/或搅拌设备（如通过气提方式）均计入曝气能耗，即作为曝气能耗的一部分进行计算。

6 不同工艺条件的校正

6.1 总则

以下校正公式依据附录A所列参考文献确定。

6.2 温度校正

NEC 应按照其计算所采用的设计或实测水温进行报告。

比较以曝气为主要能耗的好氧工艺时，宜采用以下常用氧转移温度校正公式将 NEC 校正至目标水温：

$$NEC_{T_2} = NEC_{T_1} \times 1.024^{(T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

NEC_{T_1} ——设计或实测水温下废水生物处理系统的NEC，单位为千瓦时每千克NOR（kWh/kg NOR）。

NEC_{T_2} ——校正水温下废水生物处理系统的NEC，单位为千瓦时每千克NOR（kWh/kg NOR）。

T_1 ——设计或实测水温，单位为摄氏度（℃）；

T_2 ——校正后水温，单位为摄氏度（℃）。

注：原则上，温度校正适用于整个NEC的计算，而不仅限于曝气过程。鉴于曝气占系统总能耗的主要部分，为简化计算，可仅对曝气过程进行温度校正。

公式（4）的示例计算见表B.2。

6.3 大气压校正

应采用以下常用氧转移压力校正公式将NEC校正至1.0个标准大气压（760 mmHg）：

$$NEC_{1atm} = \frac{NEC_P}{P} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

NEC_{1atm} ——标准大气压下废水生物处理系统的NEC，单位为千瓦时每千克NOR（kWh/kg NOR）。

NEC_P ——设计或现场实测大气压下废水生物处理系统的NEC，单位为千瓦时每千克NOR（kWh/kg NOR）。

P ——设计或现场实测大气压，单位为atm。

公式（5）的示例计算见表B.2。

6.4 废水类型

应通过注明系统处理的废水类型区分不同废水来源。例如，食品饮料废水的NEC结果。废水类型的分类宜按ISO 22447执行。

附 录 A
(资料性)
公式和计算参考文献

A.1 4.1.3 条中污泥 VSS 浓度的计算方法参考下列文献:

Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014: 720-722.

Takács I, Vanrolleghem P A. Elemental balances in activated sludge modelling[C]//Proceedings of IWA World Water Congress. 2006: 10-14.

A.2 4.1.3 条中 VSS 的 COD 和 TKN 含量计算方法参考下列文献:

Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014: 587.

Takács I, Vanrolleghem P A. Elemental balances in activated sludge modelling[C]//Proceedings of IWA World Water Congress. 2006: 10-14.

A.3 4.1.3 条中关于硝化与反硝化过程的需氧量及有机基质需求量的计算方法参考下列文献:

Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014: 622-623, 635-638.

A.4 第 6 章中温度校正系数的计算方法参考下列文献:

Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014: 422.

A.5 第 6 章中大气压校正系数的计算方法参考下列文献:

Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014: 420.

附录 B
(资料性)
计算示例

基于实际运行设施实测数据的 NEC 计算示例（含温度及大气压校正系数）见表 B.1。

表 B.1 基于实际运行设施实测数据的 NEC 计算示例（含温度及大气压校正系数）

序号	参数	数值	单位	来源
流量				
1	$Q_{\text{进水}}$	52.5	m ³ /d	每日累计读数，五日平均值
2	$Q_{\text{污泥}}$	1.3	m ³ /d	每日累计读数，五日平均值
3	$Q_{\text{出水}}$	51.2	m ³ /d	计算 $Q_{\text{出水}} - Q_{\text{污泥}}$
COD 浓度				
4	$C_{\text{进水, COD}}$	480	mg/L	五日分析平均值
5	$C_{\text{出水, COD}}$	25	mg/L	五日分析平均值
6	$C_{\text{污泥, VSS}}$	7450	mg/L	五日分析平均值
7	$C_{\text{污泥, COD}}$	10590	mg/L	按 1.42 倍的 $C_{\text{污泥, VSS}}$ 计算
TKN 浓度				
9	$C_{\text{进水, TKN}}$	58	mg/L	五日分析平均值
10	$C_{\text{出水, TKN}}$	7.0	mg/L	五日分析平均值
11	$C_{\text{污泥, TKN}}$	632	mg/L	五日分析平均值
NO ₃ -N 浓度				
12	$C_{\text{进水, NO}_3\text{-N}}$	1.0	mg/L	五日分析平均值
13	$C_{\text{出水, NO}_3\text{-N}}$	2.0	mg/L	五日分析平均值
14	$C_{\text{污泥, NO}_3\text{-N}}$	2.0	mg/L	假设与出水浓度相同
DO 浓度				
15	$C_{\text{进水, DO}}$	0.0	mg/L	假定为零
16	$C_{\text{出水, DO}}$	1.5	mg/L	在线 DO 探测，平均值
17	$C_{\text{污泥, DO}}$	0.0	mg/L	假定为零
功率				
18	W	0.6	kW	基于专用电表的五日数据计算
工况条件				
19	温度	23	°C	在线传感器五日平均值
20	大气压力	1.015	atm	在线传感器五日平均值
21	LR COD	10.2	kg/d	来自公式（1）
22	LR TKN	1.86	kg/d	来自公式（1）
23	LR NO ₃ -N	-0.05	kg/d	来自公式（1）
24	LR DO	-0.08	kg/d	来自公式（1）
25	NOR	13.6	kg/d	来自公式（2）
26	NEC T, P	1.06	kWh/kg NOR	处于 23°C 和 1.015 atm，来自公式（3）
27	NEC	0.97	kWh/kg NOR	按公式（4）、（5）校正为标准条件

基于设计数据的NEC计算示例（含温度及大气压校正系数）见表B.2。

表B.2 基于设计数据的 NEC 计算示例（含温度及大气压校正系数）

序号	参数	数值	单位	来源
设计流量				
1	$Q_{\text{进水}}$	60	m ³ /d	设计数据
2	$Q_{\text{污泥}}$	1.3	m ³ /d	根据质量平衡计算
3	$Q_{\text{出水}}$	58.7	m ³ /d	根据质量平衡计算
COD浓度				
4	$C_{\text{进水, COD}}$	500	mg/L	设计数据
5	$C_{\text{出水, COD}}$	25	mg/L	根据出水要求计算
6	$C_{\text{污泥, COD}}$	11000	mg/L	按表B.3所示的VSS值计算
TKN浓度				
7	$C_{\text{进水, TKN}}$	58	mg/L	设计数据
8	$C_{\text{出水, TKN}}$	7.0	mg/L	根据出水要求计算
9	$C_{\text{污泥, TKN}}$	632	mg/L	根据质量平衡计算
NO ₃ -N浓度				
10	$C_{\text{进水, NO}_3\text{-N}}$	0.0	mg/L	假定为零
11	$C_{\text{出水, NO}_3\text{-N}}$	2.0	mg/L	根据出水要求计算
12	$C_{\text{污泥, NO}_3\text{-N}}$	2.0	mg/L	假设与出水浓度相同
DO浓度				
13	$C_{\text{进水, DO}}$	0.0	mg/L	假定为零
14	$C_{\text{出水, DO}}$	1.5	mg/L	基于最终处理阶段设计工况
15	$C_{\text{污泥, DO}}$	0.0	mg/L	假定为零
功率				
16	曝气风机	1350	W	基于工作点风机选型
17	机械搅拌器	100	W	基于搅拌器选型
18	沉淀池刮泥系统	250	W	基于刮泥机电机工况
19	内回流泵	150	W	基于工作点壁挂式泵选型
20	污泥回流泵	300	W	基于工作点螺杆泵选型
21	总计	2.15	kW	
工况条件				
22	温度	23	℃	设计温度
23	大气压力	1.015	atm	海拔150米处的平均值
24	LR COD	14.2	kg/d	来自公式（1）
25	LR TKN	2.25	kg/d	来自公式（1）
26	LR NO ₃ -N	-0.12	kg/d	来自公式（1）
27	LR DO	-0.09	kg/d	来自公式（1）
28	NOR	18.5	kg/d	来自公式（2）
29	NEC T, P	2.79	kWh/kg NOR	处于23℃和1.015 atm，来自公式（3）
30	NEC	2.56	kWh/kg NOR	按公式（4）、（5）校正为标准条件

污泥COD浓度计算示例见表B.3。

表B. 3 污泥 COD 浓度计算示例

序号	参数	来源	数值
1	污泥VSS浓度	分析	7500 mg/L
2	污泥滤液COD浓度	分析	120 mg/L
3	VSS中COD浓度	计算： 1.42×7500	10650 mg/L
4	总污泥COD浓度	计算： $10650 + 120$	10770 mg/L

参 考 文 献

- [1] Aeration: A Wastewater Treatment Process, American Society of Civil Engineers, Joint Task Force of the Water Pollution Control Federation, ASCE, 1998.
- [2] Daigger Glen. T. Oxygen and carbon requirements for biological nitrogen removal processes accomplishing nitrification, nitritation, and anammox [J]. Water Environment Research, 2014, 86(3): 204-209.
- [3] Eckenfelder W., Musterman J. Activated sludge: treatment of industrial wastewater [M]. CRC Press, 1998.
- [4] Guerrini A., Romano G., Indipendenza A. Energy Efficiency Drivers in Wastewater Treatment Plants: A Double Bootstrap DEA Analysis [J]. Sustainability, 2017, 9(7): 1126.
- [5] Garrido J M, Fdz-Polanco M, Fdz-Polanco F. Working with energy and mass balances: a conceptual framework to understand the limits of municipal wastewater treatment[J]. Water Science and Technology, 2013, 67(10): 2294-2301.
- [6] ISO 22447 Industrial wastewater classification.
- [7] ISO 5667-10 Water quality—Sampling—Part 10: Guidance on sampling of waste waters.
- [8] Metcalf and Eddy A. Wastewater engineering treatment and resource recovery[M]. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- [9] Pabi S., et al. Electricity use and management in the municipal water supply and wastewater industries. Electric Power Research Institute, Palo Alto 194, 2013.
- [10] Panepinto D, Fiore S, Zappone M, et al. Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy[J]. Applied Energy, 2016, 161: 404-411.
- [11] Silva C, Matos J S, Rosa M J. A comprehensive approach for diagnosing opportunities for improving the performance of a WWTP[J]. Water Science and Technology, 2016, 74(12): 2935-2945.
- [12] Takács I, Vanrolleghem P A. Elemental balances in activated sludge modelling[C]//Proceedings of IWA World Water Congress. 2006: 10-14.
-

国家标准
《水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法
第 1 部分：生物法过程》
(征求意见稿)

编 制 说 明

《水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法 第 1 部分：生物法过程》
编制组

2026 年 6 月

一、工作简况

1.1 任务来源及要求

计划下达文号：国家标准化委员会《国家标准委关于下达 2025 年第十批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》（国标委发〔2025〕58 号）第 499 项任务。

计划编号：20255979-T-469

下达日期：2025 年 10 月 31 日

计划要求：项目周期为 12 个月，主管部门为国家标委会，归口单位和执行单位为TC 618 全国水再利用标准化技术委员会，主要起草单位是中国标准化研究院、南京大学等。

标准性质：推荐性国家标准。

制订（修订）：制定。

采标情况：等同采标ISO 21939-1: 2019。

1.2 制定背景

近年来，我国工业废水排放量持续处于高位，2023 年统计数据显示，全国工业废水年排放量超过 210 亿吨，其中石化、制药、印染等高污染行业占比超过 45%。传统生物处理技术（如活性污泥法、生物膜法）虽能有效去除有机物，但其能耗占整个污水处理流程的 60%~75%（中国环境科学研究院，2023），主要来源于曝气、污泥回流和二次沉淀等环节。随着水资源短缺问题加剧，工业废水回用率仍不足 10%，远低于发达国家 30%~50%的水平。在“双碳”目标下，如何量化并优化生物处理过程的能耗，成为推动工业废水回用的关键瓶颈。

（1）符合产业发展需求

为应对水资源危机和实现“双碳”目标，国家近年来密集出台政策推动工业废水回用。2021 年国家发改委等十部委联合印发《关于推进污水资源化利用的指导意见》，明确提出到 2025 年，全国再生水利用率达到 25%以上，其中工业用水回用率需提升至 15%。2023 年《工业废水处理能耗限额》标准（GB/T 40201-2023）首次将生物处理单元电耗纳入强制考核，要求二级处理工艺吨水电耗不超过 0.6 kWh/m³。此外，《“十四五”节水型社会建设规划》提出，到 2025 年，单位GDP用水量需较 2020 年下降 16%。这些政策敦促企业优化处理工艺，亟需建

立标准化的能耗计算与评估方法，为本文件的制定提供了刚性需求。

（2）顺应市场发展需求

随着政策支撑和用水需求的增加，工业水回用市场规模持续扩大，工业水回用行业竞争格局呈现出多元化、多层次的特点。工业水回用行业涵盖循环冷却水、工业废水、工艺水等，主要服务于电力、石化、冶金、造纸、电子半导体等领域。根据公开数据显示，在 2022 年，我国工业用水量占全国用水总量达到 17.71%，工业含盐废水排放量占全国污水排放量的 1/4；我国每年产生的工业含盐废水量约占全球废水总量的 5%，并且以每年 2% 的速度急剧增加。根据《2025-2030 年中国工业水处理行业发展前景预测与投资战略规划分析报告》，我国 2023 年工业水处理市场规模达 1850 亿元，同比增长 12.3%。预计到 2025 年将突破 2400 亿元，2030 年有望达到 3800 亿元，其中电力和化工行业贡献超 50% 的市场份额。然而，由于工业水回用行业尚处于高速发展阶段，且子行业和细分市场众多，造成参与竞争的企业数量众多，但普遍规模偏小、技术实力不全面，行业市场集中度不高。因此，亟需制定统一的工业水回用领域系列标准，促进节能高效的工业水回用处理技术创新发展，为推进工业水回用行业可持续提供保障。

（3）满足标准化需求

在标准研制方面，我国工业水回用标准化的发展快速，但因国内环保标准体系建立起步较晚，现国内尚缺一套完备的工业水回用标准体系作为顶层设计来引导具体工业水回用标准化工作。现有标准的制定多集中针对污水排放水质的内容，缺少：①对处理过程的能耗的系统性规范准则；②提供给企业精准评估和优化能源效率的技术支撑；③对设计值和测量值的区分，获取每个案例指标的标准方法；④细化到生物处理单元的能耗核算方法；⑤为硝化工艺与非硝化工艺的比较提供手段等。因此，国家标准《以水回用为目标的计算工业废水处理能耗的计算和表示方法 第 1 部分：生物过程》的采标与转化，可以有效填补国内工业水回用领域生物过程能耗计算相关标准的空白，完善工业水回用标准体系，推广工业水回用技术和工艺，以优化工业用水的能耗排放，从而进一步推进工业水回用行业的可持续发展。

因此，本文件对 ISO 21939-1:2019 进行采标和转化，通过量化能耗的方式，建立构建科学统一的生物处理能耗计算体系，增加重要的经济、环境和社会效益。

此外，该文件有助于促进污水处理行业向精细化、低碳化方向发展，为我国实现2030年碳达峰和2060年碳中和目标提供技术支撑，并提升我国标准与国际标准一致性程度，具有十分重要的意义和现实紧迫性。

1.3 起草过程

（1）前期准备阶段

2026年11月～2026年5月，展开标准编制前期准备工作，主要包括筹备组建编制组、调研并收集相关资料、编制标准工作大纲、撰写标准初稿等工作。

（2）启动与起草阶段

2026年6月，中国标准化研究院、南京大学、宜兴市产品质量和食品安全检验检测中心（宜兴市计量检定测试所）和南京大学宜兴环保研究院等在宜兴线下组织召开标准启动会，就标准编制大纲、标准初稿、重点问题及下一步工作计划进行了讨论，形成了修改建议与意见并通过了标准编制大纲。

会后，编制组对标准启动会确定的重点内容进行了深入研究和交流，并根据讨论意见对标准草案进行完善，形成了标准的征求意见稿。

二、国家标准编制原则、主要内容及其确定依据

2.1 编制原则

本标准的制定遵循“统一性、协调性、适用性、一致性、规范性”的原则，本着先进性、科学性、合理性和可操作性，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》和GB/T 1.2-2020《标准化工作导则第2部分：以ISO/IEC标准化文件为基础的标准化文件起草规则》相关要求编写。

2.2 编制依据

本标准的编制以国家环境保护现有法律、法规、政策为主要依据，参考与工业废水处理、污水处理能耗核算、节能评价等相关的国家及行业标准，并结合国内工业废水生物处理工程设计、运行管理及节能降耗实践经验，确定本标准的技术要求，总结编制了本标准。

本标准依据的法律、法规、政策主要有：

《中华人民共和国环境保护法》（主席令第九号）

《中华人民共和国环境影响评价法》（主席令第四十八号）

《中华人民共和国标准化法》（主席令第七十八号）

《中华人民共和国消防法》（主席令第八十一号）

《中华人民共和国科学技术进步法》（主席令第八十二号）

《中华人民共和国水污染防治法》（主席令第八十七号）

《中华人民共和国水污染防治实施细则》（国务院令 第 284 号）

《城镇排水与污水处理条例》（国务院令 第 641 号）

《国务院关于深入推进新型城镇化建设的若干意见》（国发〔2016〕8 号）

《国家节水行动方案》（发改环资规〔2019〕695 号）

《国家标准化发展纲要》（国务院公报 2021 年第 30 号）

《“十四五”水安全保障规划》（国家发展改革委、水利部印发）

《关于推进污水资源化利用的指导意见》（发改环资〔2021〕13 号）

《工业水效提升行动计划》（工信部联节〔2022〕72 号）

《工业废水循环利用实施方案》（工信部联节〔2021〕213 号）

《关于进一步加强水资源节约集约利用的意见》（发改环资〔2023〕1193 号）

）

《节约用水条例（2024 年）》（国务院令 第 776 号）

《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划（2024—2025 年）》（国市监标技发〔2024〕30 号）

《关于加快发展节水产业的指导意见》（发改环资〔2024〕898 号）

《关于加强生态环境领域科技创新 推动美丽中国建设的实施意见》（环科财〔2025〕12 号）

《关于促进环保装备制造业高质量发展的若干意见》（工信部联节〔2025〕49 号）

本文件参考的标准主要有：

表 1 参考与引用的标准清单

标准编号	标准名称
能耗类	
GB/T 45121-2024	火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范
GB/T 44392-2024	电工合金生产企业能耗评价方法
GB/T 44049-2024	工程机械 运行能耗基础数据测试与计算方法

标准编号	标准名称
FZ/T 07033—2024	制丝企业综合能耗计算方法及分级定额
YD/T 4881-2024	数据中心能耗管理系统测试方法
DB11/T 2250-2024	重点用能单位能耗在线监测系统接入技术规范
DB32/T 2061-2024	单位能耗限额统计范围和计算方法
DB32/T 4751-2024	污水生物处理系统能效评价方法
T/CAQI 187-2021	污水生物处理系统能效测算方法
工业水处理与回用类	
GB/T 16811-2018	工业锅炉水处理设施运行效果与监测
GB/T 30888-2014	纺织废水膜法处理与回用技术规范
GB/T 32327-2015	工业废水处理与回用技术评价导则
GB/T 37758-2019	高矿化度矿井水处理与回用技术导则
GB/T 37764-2019	酸性矿井水处理与回用技术导则
GB/T 38224.1-2019	重金属废水处理与回用技术评价 第1部分：程序和方法
GB/T 38224.2-2019	重金属废水处理与回用技术评价 第2部分：指标体系
GB/T 41016-2021	水回用导则 再生水厂水质管理
GB/T 41017-2021	水回用导则 污水再生处理技术与工艺评价方法
GB/T 41018-2021	水回用导则 再生水分级
GB/T 42247-2022	水回用导则 再生水利用效益评价
GB/T 42866-2023	煤化工废水处理与回用技术导则
GB/T 43742-2024	工业园区水回用指南
GB/T 43743-2024	工业回用水处理设施运行管理导则
GB/T 50050-2017	工业循环冷却水处理设计规范
GB 50684-2011	化学工业污水处理与回用设计规范
GB 51137-2015	电子工业废水废气处理工程施工及验收规范
GB 51441-2022	电子工业废水处理工程设计标准
FZ/T 01107-2011	纺织染整工业回用水水质
FZ/T 07031-2023	水刺非织造工艺回用水要求
HG/T 3730-2004	工业水和冷却水净化处理滤网式全自动过滤器
HG/T 5958-2021	工业废（污）水杀菌消毒处理技术规范
HG/T 6236-2023	工业废水深度处理及回用技术规范 吸附法
HG/T 6237-2023	有机氮工业废水处理及回用技术规范
HG/T 6377-2024	脱水稀硫酸处理回用装置技术要求
HJ 2019-2012	钢铁工业废水治理及回用工程技术规范
HJ 2051-2016	烧碱、聚氯乙烯工业废水处理工程技术规范
JB/T 14502-2023	工业膜法水处理设备水效评价方法
LY/T 3279-2021	工业水处理用活性炭技术指标及试验方法
Q/HS 11003-2012	磷矿选矿废水处理回用水质要求
XB/T 815-2023	稀土采选生产废水处理回用技术规范
XB/T 816-2023	稀土冶炼生产废水处理回用技术规范

标准编号	标准名称
YB/T 4791-2019	钢铁工业浓盐水处理技术规范
YB/T 4792-2019	钢铁工业直接冷却循环水处理技术规范
YB/T 6001-2022	钢铁企业综合污水回用于净循环水系统水质技术要求
YB/T 6003-2022	冷轧废水深度处理回用技术规范
YB/T 6116-2023	冷轧废水再生回用技术规范
YS/T 1169-2017	再生铅生产废水处理回用技术规范
YS/T 1405-2020	铅锌选矿废水处理与回用规范
DB11/T 1765-2020	工业废水回用工程运行管理规范
DB36/T 1835-2023	钨选矿厂废水处理与回用技术指南
DB53/T 888-2018	铅锌选矿废水处理与回用规范
T/CAQI 364-2023	铝电解电容器生产废水处理及回用技术指南
T/CECS 1524-2024	铅锌选矿废水生物法处理与回用技术规程
T/CGCC 72-2022	公用纺织品洗涤废水回用水质要求

2.3 主要内容及其确定依据

本文件等同采用 ISO 21939-1:2019 《A method to calculate and express energy consumption of industrial wastewater treatment for the purpose of water reuse—Part 1: Biological processes》。

本文件规定了工业废水生物处理系统能耗定量表征的通用原则，并提供了指导意见。本文件不适用于污染物去除性能、工艺可靠性的评价，也不作为废水处理系统选型时需考虑的其他因素。

本文件包括生物处理系统的以下子系统：

- 生物反应器，可采用悬浮生长工艺、固定膜工艺及其组合形式，包括厌氧、缺氧、好氧单一或其组合池体和功能區；
- 固液分离工艺，如沉淀、气浮或膜过滤，用于废水在进入后续工艺前的澄清处理，并可包括将分离出的固体作为污泥回流至生物反应器；
- 各种泵、鼓风机和搅拌器，用于各个子系统内部及之间的水循环、搅拌和供气；
- 处理过程的水体加热或冷却设备。

本文件不包括生物处理系统的以下子系统：

- 废水供水泵；

- 预处理系统，包括预处理和一级处理工艺，如格栅、沉淀、溶气气浮、化学氧化、油分离等；
- 后处理工艺，如消毒、脱盐、离子交换、污泥处理处置系统等；
- 厂区照明或办公运行所涉及的任何能耗；
- 过程中的能量回收，如厌氧反应器产生的沼气。

过滤工艺有时属于生物处理系统的一部分，有时又属于后处理工艺的一部分，在本文件中会单独列出。

2.4 起草单位和起草人员信息及分工

起草单位：中国标准化研究院、南京大学、宜兴市产品质量和食品安全检验检测中心（宜兴市计量检定测试所）、南京大学宜兴环保研究院、河南工业大学、江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司、华电郑州机械设计研究院有限公司、深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司、重庆大学、内蒙古农业大学。

主要起草人：任洪强、耿金菊、张蕊、钟敏、于清淼、马思佳、王庆、万东锦、白岩、陆佳怡、邵莹、范怀蒙、郭新茹、黄宇、陈旭辉、刘晓民、杨耀天。

各主要参加单位及工作组成员所做工作见表 2。

表 2 主要参加单位及工作组成员所做工作

标准章节	主要工作	牵头单位及主要负责人	主要参与单位	参与人员
1 范围 2 规范性引用文件	范围的编写、论证，规范性引用文件的检查更新	牵头单位：中国标准化研究院、南京大学、宜兴市产品质量和食品安全检验检测中心（宜兴市计量检定测试所）、南京大学宜兴环保研究院 主要负责人：任洪强、张蕊、钟敏、耿金菊	河南工业大学 华电郑州机械设计研究院有限公司	马思佳 白岩 郭新茹 万东锦
3 术语、定义和缩略语	术语、定义和缩略语的编写、核实和论证		河南工业大学 江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司	万东锦 范怀蒙
4 能耗表达与归一化	能耗表达与归一化等内容的资料调研、方法论证、草案编写		河南工业大学 深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司	陈旭辉 王庆 陆佳怡 邵莹 万东锦 黄宇
5 能耗的组分贡献	能耗的组分贡献等内容的资料调研、方法论证、草案编写		江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司 重庆大学	马思佳 白岩 范怀蒙 于清淼
6 不同工艺条件的校正	不同工艺条件能耗校正等内容的资料调研、方法论证、草案编写		江苏中宜金大环保产业技术研究院有限公司 内蒙古农业大学	陈旭辉 王庆 陆佳怡 邵莹 范怀蒙 刘晓民 杨耀天
附录 A	公式和计算参考文献的资料		华电郑州机械设计研究院有限公司	郭新茹

标准章节	主要工作	牵头单位及 主要负责人	主要参与单位	参与人员
公式和计算参考文献	调研、核实。		深圳前海华睿诺美智慧水务有限公司	黄宇
附录 B 计算示例	能耗计算示例的资料调研、 方法论证、数据核实。		华电郑州机械设计研究院有限公司 重庆大学 内蒙古农业大学	郭新茹 于清淼 刘晓民 杨耀天

三、技术论证和效益分析

3.1 技术经济论证

（1）技术性

国内外关于水回用和废水生物处理能耗的计算体系存在一定差异，但均朝着精细化、标准化方向发展。欧美国家普遍采用全生命周期评价（LCA）和碳足迹分析来量化处理过程的能耗及环境影响，如ISO 14040 系列标准为能耗计算提供框架。美国EPA的ENERGY STAR污水处理厂评级体系、欧盟的Water-Energy Nexus研究均强调动态能耗监测与基准比对，结合智能传感器和大数据分析优化运行效率。相比之下，国内能耗计算仍以单位水量电耗（kWh/m³）等传统指标为主，但近年来逐步引入LCA理念，并在《城镇污水处理厂能耗限额》等标准中细化分级评价，推动MBR、厌氧工艺等低碳技术的能耗核算标准化。

在技术应用层面，国外更注重基于模型的实时能耗预测与优化，如荷兰的STOAT模型、美国的BioWin软件可模拟不同工艺的能耗分布，指导节能降耗。中国则依托“双碳”目标加速构建本土化计算体系，如清华大学开发的污水处理碳核算模型，结合AI算法提升预测精度。然而，国内在数据采集连续性、工艺数据库完整性方面仍落后于国际先进水平。未来，全球趋势将聚焦于物联网（IoT）驱动的智慧化能耗管理平台，而中国需加强国际标准对接，并完善涵盖水回用全链条的精细化计算工具，以支撑行业低碳转型。

（2）经济性

水回用是缓解全球性水资源短缺的重要措施，也是当前世界各国普遍采取的行动。“按需回用”（fit for purpose）是水回用领域的共识，通过回用于城市杂用水、景观用水、农业灌溉、工业冷却水等场景，降低了新鲜水的需求，为加强传统供水提供了机会。经过水回用工艺处理的废水达到安全、满足用户需求的质量标准，不仅提高了水回用的整体吸引力，也使得水回用更经济可行。

同时，近年来我国不断加强关于污水资源化利用的决策部署，推进工业废水循环利用，提升工业水资源集约节约利用水平，以促进经济社会全面绿色转型。2021 年工信部等六部委联合印发的《工业废水循环利用实施方案》中提出重点聚焦石化化工、钢铁、有色、造纸、纺织、食品等行业，明确用水行业废水高效循

循环利用的目标。在 2025 年 3 月全国两会的《政府工作报告》中明确持续加大财政支出强度，加快各项资金下达拨付，其中资金用途包含加强污染防治和生态建设、加快发展绿色低碳经济以及积极稳妥推进碳达峰碳中和等降碳减污扩绿增长重点工作，加强废弃物循环利用，大力推广再生材料使用，促进循环经济发展。

随着经济发展与政企事业单位的投资为工业水回用行业数字化转型注入了持久动力。因此，本标准的制定和实施在经济上是可行的。

3.2 预期效益

（1）经济效益

对于化工企业而言，工业废水的处理和回用既是一项环保责任，更是降低生产成本、提高经济效益的重要途径。通过对回用流程的能耗进行标准化处理，以便在比较不同的处理方案时考虑到流量和浓度的差异，从而辅助企业环保低碳发展，更好的创造额外的经济效益。为好氧生物废水处理系统的能耗提供一个定量的通用表征标准。这种规范化将有利于工程师对系统进行规范和比较。特别是在考虑废水处理的生命周期成本时，这种需求尤为突出。

（2）社会效益

水是人类生活和发展不可或缺的资源。随着全球人口的增长和工业化进程，水资源短缺的问题变得越来越突出。因此，提高用水效率、节约水资源已成为当务之急，工业水回用技术需要创新和发展，为工业生产提供再利用水源，减少工业上对新鲜水资源的依赖。而通过标准化工作，能够促进工业水回用科技创新成果对接产业化，推动科技创新和产业创新融合发展，从而促进工业废水的再生利用，能够有效缓解水资源紧张的状况。同时，优化工业废水处理和回用工艺，可进一步提高废水回用率、提高用水效率，实现水资源的最大化利用。

（3）生态效益

随着工业化的加速推进，化工行业产生的废水日益增多。面对全球资源日益紧张和环境问题日益凸显的情况，实现资源的循环利用和减少污染排放，已成为社会发展的必然趋势。而工业废水因其复杂的成分和和能耗高的特性，对环境的污染尤为严重。通过本标准的采标转化，可有效指导工业水回用的能耗计算，以此助力低碳减排的发展目标。工业水回用领域先进技术的推广和应用，可以有效

地减控废水处理时产生的能耗，降低其对环境的污染负荷，对引领我国工业水处理产业健康、快速、可持续发展具有重要意义。

四、与国际或国外同类标准一致性情况对比

本文件等同采用ISO 21939-1:2019，技术水平一致。

五、以国际标准为基础的起草情况，以及是否合规引用或者采用国际国外标准，并说明未采用国际标准的原因

本文件等同采用ISO 21939-1:2019。

引用、采用国际国外标准合规。

六、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本文件与相关法律法规及强制性标准协调配套，不存在违法相关法律法规及强制性标准的技术内容。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

八、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利内容。

九、实施国家标准的要求，以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

为了贯彻实施本文件，应在实施前保证标准文本的充足供应。在实施过程中，向涉及工业废水处理、再生水循环利用的单位与监管部门进行宣传、贯彻，根据贯彻实施情况反馈信息，不断修订完善。同时，随着信息化技术的不断发展创新以及实践经验的积累，根据绿色低碳转型和节能降耗的实际需要，标准内容应不断得到完善、拓展、深入和更新，使其实用性和可操作性与时俱进，不断满足能耗双控的需要。因此，本标准发布与实施后，建议建立相关信息的反馈机制，适时解决标准应用中的问题，及时了解和总结工业废水生物处理工艺节能升级新动向，推动标准的贯彻执行。

十、公平竞争审查

本标准于 2026 年 6 月进行公平竞争审查，并顺利通过公平竞争审查。审查结果显示，本标准未含有对市场准入负面清单以外的行业、领域、业务等违法设置审批程序的内容；未含有限定经营、购买或者使用特定经营者提供的商品或者服务（以下统称商品）；未含有设置了不合理或者歧视性的准入、退出条件的内容；未含有其他限制或者变相限制市场准入和退出的内容；未含有限制外地或者进口商品、要素进入本地市场，或者阻碍本地经营者迁出，商品、要素输出的内容；未含有排斥、限制、强制或者变相强制外地经营者在本地投资经营或者设立分支机构的内容；未含有其他限制商品、要素自由流动的内容；未含有给予特定经营者选择性、差异化的财政奖励或者补贴的内容；未含有其他影响生产经营成本的内容；未含有强制或者变相强制经营者实施垄断行为，或者为经营者实施垄断行为提供便利条件的内容；未含有其他影响生产经营行为的内容。

同时，本标准旨在通过量化能耗的方式，建立构建科学统一的生物处理能耗计算体系，同时明确了工业废水生物处理系统能耗计算的系统边界、能耗组成以及不同工艺条件下的系数校正，为我国工业废水生物处理系统的节能评估及相关技术服务提供统一的通用指南，推动工业废水处理行业耗核算标准化与精细化管理，进而提升行业能源利用效率和绿色低碳运行水平，助力美丽中国建设与双碳战略目标实现。经综合评估，本标准作为工业废水生物处理系统能耗核算通用标准，与工业废水处理行业绿色低碳发展和节能减排的长期需求相适配，符合《公平竞争审查条例》第（三）项关于“为实现节约能源、保护环境、救灾救助等社会公共利益”的适用情形。

十一、其他应当说明的事项

无

《水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法
第 1 部分：生物法过程》编制组

2026 年 06 月

国家标准《水再利用工业废水处理的能耗计算与表达方法

第 1 部分：生物法过程》（征求意见稿）

意 见 反 馈 表

姓名		电话		E-mail	
单位 (盖章)		通信 地址		邮编	
章条号	修改建议	修改理由 (请详细说明修改的依据)			

(篇幅不足，可续页)

请于 2026 年 8 月 31 日前返回 standard@njuyi.cn。