



团体标准

T/CECA-G ××××—2024

电子工业废水再生回用碳排放计算导则

Guidelines for Calculating Carbon Emissions from Wastewater Reclamation and Reuse in the Electronics Industry

(征求意见稿)

2024-××-×× 发布

2024-××-×× 实施

中国节能协会发布



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以其他形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版、影印版，或发布在互联网及内部网络等。使用许可请与发布机构获取。

目 次

前言	II
1 范围	24
2 规范性引用文件	24
3 术语和定义	24
4 基本规定	26
5 核算边界	27
6 生产设施、设备碳排放	28
7 处理阶段碳排放	29
9 药剂运输、废料外运碳排放	41
附录 A（资料性）常见碳排放因子	43
附录 B（资料性）电子工业废水处理阶段与碳排放来源	48
附录 C（资料性）各温室气体全球变暖潜值（GWP）	51
附录 D（资料性）废弃物碳排放来源	52

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。

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。

本文件由中国节能协会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国电子系统工程第二建设有限公司、南方泵业股份有限公司、东南大学、中国节能协会等。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。



电子工业废水再生回用碳排放计算导则

1 范围

本文件规定了电子工业废水在省会用碳排放计算的基本规定、核算边界、生产设施设备碳排放、处理阶段碳排放、废弃物碳排放、药剂运输及废料外运碳排放的计算。

本文件适用于一般电子工业废水处理工程建造、污染物处理、材料和废渣处理及运输、特殊药剂存储，以及电力、化石能源消耗的碳排放计算。

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。

GB/T 213	煤的发热量测定方法
GB/T 384	石油产品热值测定法
GB 17167	用能单位能源计量器具配备和管理通则
GB/T 22723	天然气能量的测定
GB/T 32150	工业企业温室气体排放核算和报告通则
GB/T 51366	建筑碳排放计算标准
GB 51441	电子工业废水处理工程技术设计标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电子工业 electric industry

包括电子专用材料、电子元件、印制电路板、半导体器件、显示器件及光电子器件、电子终端产品、其他电子设备等电子产品制造业。

3.1

电子工业废水 electric industry wastewater

电子工业废水主要是混合、研磨和清洗、端面处理、图形制作和涂覆等生产单元的工艺废水和辅助生产系统产生的废水，主要水污染物项目有pH值、悬浮物、石油类、CODCr、TOC、氨氮、总氮、总磷、LAS、总氰化物、氟化物、总铜、总锌、总铅、总镉、总铬、六价铬、总砷、总镍、总银等。

3.2

酸碱废水 acidic & alkaline wastewater

生产过程中排放的呈酸性或碱性的废水

3.3

研磨切割废水 grinding & sawing wastewater

研磨、切割等工艺生产过程中排出的含有固体颗粒物或悬浮物的废水。

3.4

化学机械抛光废水 chemical mechanical planarization (CMP) wastewater

化学机械抛光生产过程中排出的含有固体颗粒物或悬浮物的废水。

3.5

含氟废水 fluoride wastewater

生产过程中排放的含氟离子及其化合物的废水。

3.6

含磷废水 phosphorus wastewater

生产过程中排放的含磷酸、磷酸盐、偏磷酸盐、聚合磷酸盐和有机磷酸盐的废水。

3.7

含砷废水 arsenic wastewater

生产过程中排放的含有各种砷化合物的废水。

3.8

有机废水 organic wastewater

生产过程中排放的含有有机物质的废水。

3.9

无机废水 inorganic wastewater

生产过程中排放的只含无机盐等化合物，不含有机类化合物的废水。

3.10

重金属废水 heavy metal containing wastewater

生产过程中排放的含有镉、铬、铅、镍、银、铜、锌等金属离子、络合物及其化合物的废水。根据废水中所含重金属元素又分别称为含镉废水、含铬废水、含铅废水、含镍废水、含银废水、含铜废水、含锌废水等。

3.11

物化处理 physical & chemical treatment

采用物理及化学的方式处理废水。电子废水物化处理工艺主要包括化学反应、混凝沉淀、吸附、离子交换、过滤、蒸发浓缩等方法。

3.12

生化处理 biochemical treatment

利用微生物的代谢作用，使污水中呈溶解和胶体状态的有机污染物转化为无害物质，以实现净化的方法，包括好氧处理、厌氧处理。

3.13

回用水 reclaim water

废水直接或经适当处理后，达到一定的水质指标，满足某种使用要求，可以使用的水。

3.14

设备碳排放 equipment carbon emission

生产设备的材料生产及运输、建造及拆除、运行阶段产生的温室气体排放的总和，以二氧化碳当量表示。

3.15

计算边界 accounting boundary

废水再生回用的温室气体排放的计算范围。

3.16

碳排放因子 carbon emission factor

将能源与材料消耗量与二氧化碳排放相对应的系数，用于量化电子工业废水再生回用不同阶段相关活动的碳排放。

3.17

药剂循环利用 chemicals recycling

在反应过程中产生的可供再利用的副产品。

4 基本规定

4.1 废水处理基本规定

4.1.1 电子工业废水处理工程的工艺选择应遵循综合治理、再生利用、节能减排、总量控制的原则。

4.1.2 电子工业废水处理应选用技术成熟、安全可靠、运维便利的工艺流程。科学合理、积极慎重地选用经过验证、行之有效的新技术、新工艺、新材料和新设备。

4.1.3 工艺流程的选择应充分考虑地域、地理、地质、气象、地震等自然因素的影响。

4.1.4 工艺流程应考虑初期投资、运行成本、服务寿命、资源占用、能源消耗等因素，通过技术经济比较来确定。

4.1.5 电子工业废水处理深度应根据环境影响评价的要求确定，污染物排放应符合相应的国家、地方或行业的污染物排放标准。

4.1.6 电子工业废水处理工程应按照系统运行管理的需要以及项目所在地环境保护管理技术要求安装在线监控系统。

4.1.7 电子工业废水处理工程工艺设计应提供必要的措施妥善处理运行过程中可能产生的废水、废气、废渣以及其它污染物，满足国家、行业和地方相关法规和标准，防止二次污染。

4.1.8 水质、水量变化大的废水处理系统，应设置调节水质和(或)水量的设施。

4.1.9 调节池容积应根据废水水量、水质变化范围以及要求的调节程度确定，应满足水量、水质变化一个周期以上全部废水的调节要求。

4.1.10 调节池应设搅拌系统，并根据废水特点考虑加盖、通风、除臭、防爆及排泥等措施。

4.1.11 废水处理站应设置应急池，应急池的停留时间应根据项目环境影响评价的要求，结合所收集废水的种类、特性和处理工艺设置。

4.1.12 废水处理站应设置事故应急池，容积不宜小于最大一股废水 6h 的平均排水总量。

4.1.13 当采用混凝沉淀法处理废水且废水水量小于 50m³/d 时，宜采用序批式混凝沉淀法处理。

4.2 碳排放核算基本规定

4.2.1 废水系统中建筑物碳排放计算的主要对象是反应池、存储池等。

4.2.2 再生回用计算方法应当用于废水处理系统设计阶段对碳排放量进行计算，或在投入使用后对碳排放量进行核算。

4.2.3 电子工业废水再生回用碳排放计算应根据不同需求按阶段进行计算，并可将分段计算结果累计为电子工业废水再生回用全生命期碳排放。

4.2.4 碳排放计算应包含《IPCC 国家温室气体清单指南》中列出的各类温室气体。

4.2.5 废水运输、处理、回用阶段中因电力和化石能源消耗造成的碳排放计算，应采用由国家相关机构公布的区域电网平均碳排放因子。

4.2.6 相关药剂、设备设施碳排放量应按本标准提供的方法和数据进行计算，宜采用基于本标准计算方法和数据开发的电子工业废水再生回用碳排放计算软件计算。

5 核算边界

本文件涉及的碳排放应包含以下几个部分：

a) 购入药剂的生产碳排放。包含对主要污染物进行化学、生物处理中采用的常见试剂生产过程产生的碳排放；

b) 药剂运输。药剂从供应地运输到电子工业废水污染处理厂产生的交通运输碳排放；

c) 反应池、存储装置建造。为保证反应安全经济进行的反应池、处理池（材质、尺寸），以及确保试剂在现场安全存储，所有涉及装置的修建过程中产生的碳排放；

d) 发生反应过程中产生的碳排放。涉及化学、生物反应时，可能产生的温室气体排放量；

e) 反应后废渣（污泥）运输。污染物处理后，反应系统中余下的反应物残渣，以及其中可以进行综合利用的部分运输至下一场所；

f) 反应残渣处理。对反应残渣进行分类后，根据种类和特点选择相应的处理工艺，将残渣妥善处理；

g) 废水深度处理。为实现电子工业废水再生回用的目的，对处理满足排放标准后的废水进行深度处理，得到回用水。

h) 维持运行的电力、化石燃料能源消耗。维持反应所需环境温度、湿度和生产条件所造成的电力、化石燃料消耗。

表1 碳排放清单

分类	简称
生产设施、设备	$C_{ss, sb}$
处理阶段	C_{cl}

废弃物	C_{fqw}
运输	C_{ys}

6 生产设施、设备碳排放

6.1 一般规定

6.1.1 对于各种类型的反应池、管道、机械设置应当满足安全生产的前提，设计前应经过充分论证；或者满足附录 B 中所罗列的条件。

6.1.2 现场设计应当保证反应前药剂安全妥善存放，反应后废渣及副产品能妥善处置，避免发生危险。

6.1.3 反应池、存储室的设计应当在满足安全的情况下，尽可能确保绿色、经济。

6.1.4 每一步骤的管道、机械设置应当确保废水能够满足当前流程安全生产、并且运送到下一环节。

6.1.5 排放量计算

6.1.5.1 生产设施、设备设计碳排放包括材料生产、运输碳排放，如公式6-1。

$$C_{ss, sb} = C_{cl} + C_{ys1} \quad (6-1)$$

式中：

$C_{ss, sb}$ ——设施、设备碳排放总量；

C_{cl} ——材料生产过程产生的碳排放；

C_{ys1} ——材料从采购地运输到现场产生的碳排放。

6.1.5.2 设施包括混凝池、水解酸化池、反应池建造，管道、相关机械碳排放量应按公式 6-2 计算。常见药品碳排放因子可参考附录 A 表 A.1。

$$C_B = \sum_{i=1}^n N_i CF_i \quad (6-2)$$

式中：

C_B ——修建反应池的碳排放量；

N_i ——第 i 种材料的数量；

CF_i ——第 i 种材料的碳排放因子；

i ——材料种类。

6.1.5.3 涉及施工机械能源消耗带来的碳排放，可参照 GB/T 51336 计算，并计入废弃物排放。

6.2 材料

6.2.1 管道、机械包括电子工业废水处理回收时发生的运输、搅拌装置、振荡装置、过滤仪器以及其他构成流程使用到的装置。

6.2.2 对于直接购入的存储设施，按照其材料生产过程进行碳排放核算。

6.2.3 对于需要自行建造的设备设施，需要考虑设计尺寸、生产损耗。为方便计算，一般的目标材料使用情况计量，目标设施建成的材料期末存量减去期初存量计算，见公式 6-3。

$$N_i = N_e - N_s \quad (6-3)$$

式中：

N_i ——材料的数量；

N_e ——材料的期末数量；

N_s ——材料的期初数量。

6.2.4 在每次设备设施安装前，应及时准确记录各种材料的存量。

6.3 材料运输

6.3.1 材料运输碳排放应当包含一般建材、设备材料从采购地运输到现场的碳排放量；

6.3.2 电子工业废水再生回用处理生产运营全周期中，采购从厂家到现场运输过程中消耗的碳排放应当按照公式 6-4 计算。

$$C_{ys1} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i \quad (6-4)$$

式中：

C_{ys1} ——材料运输到现场过程碳排放；

M_i ——材料消耗量；

D_i ——平均运输距离；

T_i ——单位重量对应运输工具的运输碳排放因子；

i ——材料种类。

6.3.3 主要建材的运输距离宜优先采用实际的建材运输距离。混凝土的默认运输距离是 40km；其他建材的默认运输距离是 500km。

6.3.4 常见运输车碳排放因子参照附录 A 表 A.2。

6.3.5 直接购入的存储设施，应按照其材料生产过程进行碳排放核算。

7 处理阶段碳排放

7.1 排放量计算

处理阶段碳排放包含电子工业废水处理中常用药剂及其包装，反应过程涉及的温室气体（换算为 CO_2 当量）排放，计算公式见 7-1。

$$C_{cl} = C_{yj} + C_{bz} + C_{hs} + C_{rl} + C_{qt} \quad (7-1)$$

式中：

C_{cl} ——处理阶段碳排放总量；

C_{yj} ——药剂生产的碳排放量；

C_{bz} ——药剂包装材料生产的碳排放量；

C_{hs} ——使用化石能源的碳排放量；

C_{rl} ——使用燃料的碳排放量；

C_{qt} ——反应过程产生气体的碳排放当量。

7.2 药剂

7.2.1 药剂生产的碳排放的计算边界应符合以下规定：

- a) 药剂生产碳排放计算时间边界应从原材料进场开始，至药剂生产并包装完毕止；
- b) 药剂生产过程中使用的各类设备所产生的碳排放应计入；
- c) 药剂生产过程中使用的原材料、助剂、催化剂、洗涤剂等生产所需碳排放应计入；
- d) 药剂包装生产过程中产生碳排放应计入。

7.2.2 投入药剂的碳排放量按照公式 7-2 进行计算。

$$C_{yj} = \sum_{i=1}^n M_i EF_i \quad (7-2)$$

式中：

- C_{yj} ——药剂碳排放总量；
- M_i ——第 i 种试剂投入的量；
- EF_i ——第 i 种试剂的碳排放因子；
- i ——试剂种类。

7.2.3 药剂包装处理部分消耗的材料部分按照公式 7-3 计算。

$$C_{bz} = \sum_{i=1}^n N_i EF_i \quad (7-3)$$

式中：

- E_{bz} ——包装材料产生的碳排放；
- N_i ——第 i 种材料的数量；
- EF_i ——第 i 种材料的碳排放因子；
- i ——材料种类。

注：式中材料应该统一采购，数量应实报实销。

7.3 处理过程直接碳排放

7.3.1 处理阶段分为预处理和后处理两个阶段，常规物化处理和生化处理见附录 B，其他深度处理手段可参考 GB 51441。

7.3.2 物化处理碳排放

针对污水中 COD 的去除有多种工艺可以选择，不同的工艺直接碳排放量不同。物化反应碳排放计算见公式 7-4，工艺具体的系数见表 2。

$$(E_{FC} = Q_{in} \times COD_{in} + Q_{out} \times COD_{out}) \times \alpha \quad (7-4)$$

式中：

- Q_{in} ——处理工序进水水量，L；
- COD_{in} ——处理工序进水 COD 浓度，mg/L；
- Q_{out} ——处理工序出水水量，L；
- COD_{out} ——处理工序出水 COD 浓度，mg/L；
- α ——二氧化碳系数。

注： α 表示每种工艺中，去除的 COD 中直接转化为二氧化碳的比例。 α 具体情况见附录 B。

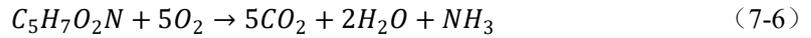
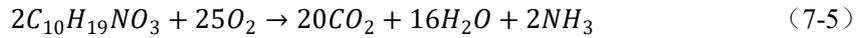
表 2 7.3.3 生化处理碳排放

生化处理包括好氧生物处理和厌氧生物处理，以及二者的组合，处理过程碳排放可根据进出水 TOC 或者 COD 计算，具体公式如下：

7.3.3.1 根据进出水 TOC 等指标计算

7.3.3.1.1 好氧处理过程碳排放

好氧处理过程排放的 CO₂ 主要由有机物好氧分解和微生物内源呼吸产生，有机物好氧分解过程中(以 TOC 计算)和微生物内源呼吸生产 CO₂ 的化学反应式分别如公式 7-5 和 7-6 所示。



该过程中产生的生源性+化石源 CO₂ 直接排放量(kg CO₂/m³)为:

$$M_{CO_2} = (1.1aQ - 1.1cyY_{好氧}Q) (TOC_{o, 好氧} - TOC_{e, 好氧}) \times 2.67 \times 10^{-3} + 1.947Q \times HRT_{好氧} \times MLVSS_{好氧} \times K_d \times 10^{-3} \quad (6-6)$$

式中:

a——碳的氧当量，取 1.47;

c——常数，细菌细胞的氧当量，取 1.42;

Q——好氧生物反应池的进水流量，m³/d;

2.67——消耗单位 TOC 所需要的氧气量;

TOC_{o, 好氧}——好氧生物反应池进水 TOC，mg/L;

TOC_{e, 好氧}——好氧生物反应池出水 TOC，mg/L;

y——MLVSS/MLSS;

Y_{好氧}——处好氧池污泥产率系数，kg MLVSS/kg BOD₅，范围为 0.4~0.8，通常取 0.68;

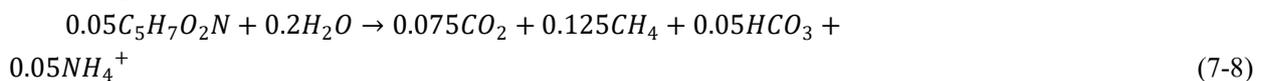
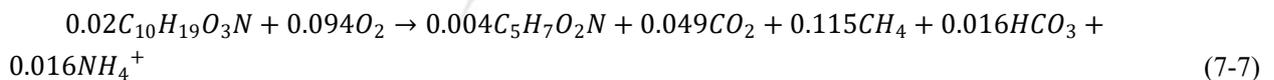
HRT_{好氧}——好氧生物池水力停留时间，d;

MLVSS_{好氧}——好氧生物池混合液挥发性悬浮固体平均浓度，mg/L;

K_d——衰减系数，d⁻¹，Monteith 稳态模型中取 0.05。

7.3.3.1.2 厌氧处理过程碳排放

厌氧处理过程化石源 CO₂ 直接排放根据 Monteith 静态模型和化学计量关系，厌氧过程由 TOC 削减和微生物内源代谢产生的 CO₂ 的化学反应式分别如下式所示:



该过程中产生的生源性+化石源 CO₂ 直接排放量(kg CO₂/m³)由下式计算:

$$M_{CO_2} = 0.27Q (TOC_{o, 厌氧} - TOC_{e, 厌氧}) \times 2.67 \times 10^{-3} + 0.58Q \times HRT_{好氧} \times MLVSS_{好氧} \times K_d \times 10^{-3} \quad (7-9)$$

式中:

Q——厌氧生物反应池的进水流量，m³/d;

TOC_{o, 厌氧}——厌氧生物反应池进水 TOC，mg/L;

$TOC_{e, \text{厌氧}}$ ——厌氧生物反应池出水 TOC, mg/L;

$HRT_{\text{厌氧}}$ ——厌氧生物池水力停留时间, d;

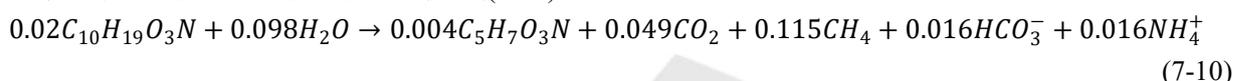
$MLVSS_{\text{厌氧}}$ ——厌氧生物池混合液挥发性悬浮固体平均浓度, mg/L;

K_d ——衰减系数, d⁻¹。

7.3.3.2 根据进出水 COD 等指标计算

7.3.3.2.1 水解酸化池碳排放量预测方法

水解酸化池具体化学反应方程式为式(7-10):



水解酸化池中 CH₄ 预测方法为式(7-11):

$$M_{CH_4} = 0.226 \times Q_{\text{水解酸化}} \times [(COD_{\text{进水颗粒性}} - COD_{\text{出水颗粒性}}) - (COD_{\text{出水溶解性}} - COD_{\text{进水溶解性}})] \times 10^{-3} \quad (7-11)$$

式中:

M_{CH_4} ——生成 CH₄ 的量, mg/L;

$Q_{\text{水解酸化}}$ ——水解酸化池进水流量, m³/d;

$COD_{\text{进水颗粒性}}$ ——水解酸化池进水颗粒性有机物 COD, mg/L;

$COD_{\text{出水颗粒性}}$ ——水解酸化池出水颗粒性有机物 COD, mg/L;

$COD_{\text{进水溶解性}}$ ——水解酸化池进水溶解性有机物 COD, mg/L;

$COD_{\text{出水溶解性}}$ ——水解酸化池出水溶解性有机物 COD, mg/L。

水解酸化池中 CO₂ 预测方法为式(7-12):

$$M_{CO_2} = 0.226 \times Q_{\text{水解酸化}} \times [(COD_{\text{进水颗粒性}} - COD_{\text{出水颗粒性}}) - (COD_{\text{出水溶解性}} - COD_{\text{进水溶解性}})] \times 10^{-3} \quad (7-12)$$

式中:

M_{CO_2} ——生成 CO₂ 的量, mg/L

7.3.3.2.2 污水好氧生物处理碳排放量预测方法

污水好氧生物处理碳排放的预测方法主要是根据其碳排放三个来源阶段进行计算,分别为厌氧阶段、缺氧阶段以及好氧阶段。

a) 厌氧阶段

厌氧阶段微生物消耗有机物合成自身产生 CO₂ 的预测方法为式(7-13):

$$M_{CO_2} = 0.54 \times 0.502 \times [(BOD_{\text{进水}} - BOD_{\text{出水}}) \times Q \times 10^{-3} - 1.22 \times Q_{\text{厌氧}} \times Y \times (BOD_{\text{进水}} - BOD_{\text{出水}}) \times 10^{-3}] \quad (7-13)$$

式中:

M_{CO_2} ——生成 CO₂ 的量, mg/L;

$BOD_{\text{进水}}$ ——厌氧池进水 BOD, mg/L;

$BOD_{\text{出水}}$ ——厌氧池出水 BOD, mg/L;

$Q_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池的进水流量， m^3/d ；

Y ——污泥产率系数。

厌氧阶段微生物消耗有机物合成自身产生 CH_4 的预测方法为式(7-14)：

$$M_{\text{CH}_4} = 0.45 \times 0.502 \times [(BOD_{\text{进水}} - BOD_{\text{出水}}) \times Q \times 10^{-3} - 1.22 \times Q_{\text{厌氧}} \times Y \times (BOD_{\text{进水}} - BOD_{\text{出水}}) \times 10^{-3}] \quad (7-14)$$

式中：

M_{CH_4} ——为生成 CH_4 的量， mg/L

厌氧条件下微生物内源呼吸产生 CO_2 预测方法为式(7-15)：

$$M_{\text{CO}_2} = 0.58 \times Q_{\text{厌氧}} \times HRT_{\text{厌氧}} \times MLVSS \times kd \times 10^{-3} \quad (7-15)$$

式中：

M_{CO_2} ——生成 CO_2 的量， mg/L ；

$Q_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池进水流量， m^3/d ；

$HRT_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池的水力停留时间， d ；

$MLVSS$ ——厌氧池中挥发性悬浮固体浓度， mg/L ；

kd ——污泥衰减系数， d^{-1} 。

厌氧条件下微生物内源呼吸产生 CH_4 预测方法为式(7-16)：

$$M_{\text{CH}_4} = 0.35 \times Q_{\text{厌氧}} \times HRT_{\text{厌氧}} \times MLVSS \times kd \times 10^{-3} \quad (7-16)$$

式中：

M_{CH_4} ——为生成 CH_4 的量， mg/L

厌氧条件下产生 N_2O 排放量预测方法，采用王金鹤利用实测法所测出 N_2O 的排放因子进行计算为式(7-17)：

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = F_{\text{厌氧}} \times EF_{\text{厌氧}} \times 10^{-3} \quad (7-17)$$

式中：

$M_{\text{N}_2\text{O}}$ ——生成 N_2O 的量， mg/L ；

$F_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池的面积， m^2 ；

$EF_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池 N_2O 的排放的系数，取 $0.025\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

b) 缺氧阶段

缺氧池的 CO_2 的排放量由式(6-18)计算：

$$M_{\text{CO}_2} = 1.1 \times (BOD_{\text{缺氧池进水}} - BOD_{\text{缺氧池出水}}) \times Q_{\text{缺氧池}} \times 10^{-3} \quad (7-18)$$

式中：

M_{CO_2} ——生成 CO_2 的量， mg/L

缺氧阶段 N_2O 的排放采用王金鹤利用实法所测 N_2O 的排放因子进行计算为式(7-19)：

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = F_{\text{缺氧}} \times EF_{\text{缺氧}} \times 10^{-3} \quad (7-19)$$

式中：

式中:

M_{N_2O} ——生成 N_2O 的量, mg/L

$F_{\text{缺氧}}$ ——缺氧池的面积, m^2

$EF_{\text{缺氧}}$ ——缺氧池 N_2O 的排放的系数, 取 $0.0532g/m^2 \cdot d$

c) 好氧阶段

好氧阶段微生物分解代谢产生 CO_2 预测方法为式(7-20):

$$M_{CO_2} = 1.1 \times Q \times Sr - 1.42 \times y_o \times Q \times Sr \quad (7-20)$$

式中:

M_{CO_2} ——生成 CO_2 的量, mg/L

Q ——污水量, m^3/d

Sr ——污水进出水 BOD 浓度差, kgBOD/ m^3

Y_o ——污泥增长率 (去除一公斤 BOD 微生物净增值量), kgVSS/kgBOD

(3) 污水厌氧工艺碳排放量预测方法

用于产生 CH_4 的 COD 的量由式(6-21)计算:

$$COD_{CH_4} = (1 - 1.22Y) \times (COD_{\text{进水}} - COD_{\text{出水}}) - 0.67 \times MSO_4^- \quad (7-21)$$

根据 C.P.Leslie Grady 等人提出的 1 摩尔甲烷氧化成 CO_2 和水需要 2 摩尔氧气, 化学方程式为(7-22):



则厌氧工艺 CH_4 的排放量的预测方法为式(7-23):

$$M_{CH_4} = 0.35 \times Q_{\text{厌氧}} \times [(1 - 1.22Y) \times (COD_{\text{进水}} - COD_{\text{出水}}) - 0.67MSO_4^-] \times 10^{-3} \times \rho_{CH_4} \quad (7-23)$$

式中:

M_{CH_4} ——厌氧工艺的 CH_4 排放量, kg/d;

Y ——污泥产率系数;

ρ_{CH_4} ——标况下 CH_4 密度;

MSO_4^- ——污水中的 SO_4 的量, mg/L。

7.3.2.3 根据进出水 BOD 等指标计算

7.3.2.3.1 CH_4 碳排放量

在厌氧生化处理过程中生成 CH_4 , CH_4 碳排放量 (换算为 CO_2 当量) 按公式(6-24)计算:

$$m_{CH_4} = \sum_{i=1}^{365} Q_{WW, In, i} \times BOD_{5In, i} \times EF_{CH_4} \times 10^{-6} \quad (7-24)$$

式中, m_{CH_4} ——污水厂年度 CH_4 碳排放量, t;

$Q_{WW, In, i}$ ——污水厂第 i 天进水量, m^3 ;

$BOD_{5In, i}$ ——污水厂第 i 天进水 BOD_5 , mg/L;

EF_{CH_4} —— CH_4 排放系数 (见表 3), kg CH_4 /kg BOD_5 。

表 3 不同处理工艺小城镇污水厂 CH_4 和 N_2O 排放因子

CH_4 排放因子/(kg CH_4 /kg BOD_5)	N_2O 排放因子/(kg N_2O -N/kg TN)
--------------------------------------	----------------------------------

氧化沟类	SBR 类	A ² /O 类	氧化沟类	SBR 类	A ² /O 类
0.0096	0.0100	0.0142	0.00641	0.02020	0.00466

7.3.2.3.2 N₂O 碳排放量

污水生化处理工艺的缺氧阶段和好氧阶段产生的 N₂O 碳排放量（换算为 CO₂ 当量）按公式(7-25) 计算：

$$m_{N_2O} = \sum_{i=1}^{365} Q_{WW, In, i} \times TN_{In, i} \times EF_{N_2O} / \omega_{N/N_2O} \times 10^{-6} \quad (7-25)$$

式中： m_{D, N_2O} ——污水厂年度 N₂O 碳排放量，t CO₂；

$Q_{WW, In, i}$ ——污水厂第 i 天进水量，m³；

$TN_{In, i}$ ——污水厂第 i 天进水 TN 浓度，mg/L；

EF_{N_2O} ——N₂O 排放系数（见表 3），kg N₂O-N/kg TN；

ω_{N/N_2O} ——N₂O 中 N 质量分数，取值为 28/44。

7.4 化石能源

7.4.1 电子工业废水处理化石燃料燃烧的碳排放是核算计算期内各种燃料的消耗量与平均碳排放因子的乘积，按公式 7-26 和 7-27 计算。

$$C_{hs} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (7-26)$$

$$C_i = EF_i \times FC_i \quad (7-27)$$

式中：

C_{hs} ——化石能源碳排放总量；

C_i ——计算期内第 i 种化石燃料的碳排放量，tCO₂；

EF_i ——第 i 种燃料的平均碳排放因子；

FC_i ——计算期内第 i 种燃料的净消耗量；对固体或液体燃料，单位为 t；对气体燃料，单位为万 Nm³；

i——化石燃料种类。

对于燃料的净消耗量，采用企业计量数据，相关计量器具应符合 GB17167《用能单位能源计量器具配备和管理通则》要求。对于化石燃料平均低位发热量，可采用本指南附录 A 所提供的推荐值，具备条件的企业可开展实测，或委托有资质的专业机构进行检测，也可采用与相关方结算凭证中提供的检测值。如选择实测，化石燃料低位发热量检测应遵循 GB/T 213《煤的发热量测定方法》、GB/T 384《石油产品热值测定法》、GB/T 22723《天然气能量的测定》等相关标准。

7.4.2 净购入的电力、热力产生的 CO₂ 排放量按公式计算

$$C_{dl} = AD_{dl} \times EF_{dl} \quad (7-28)$$

$$C_{rl} = AD_{rl} \times EF_{rl} \quad (7-29)$$

式中：

C_{dl} ——净购入的电力产生的排放，tCO₂；

C_{rl} ——净购入的热力产生的排放，tCO₂；

AD_{dl} ——企业的净购入使用的电量，MWh；

AD_{rl} ——企业的净购入使用的热量，GJ；

EF_{dl} ——区域电网年平均供电排放因子, tCO₂/MWh;

EF_{rl} ——热力供应的排放因子, tCO₂/GJ。

7.4.3 排放因子数据获取

区域电网年平均供电排放因子应根据企业生产地址及目前的东北、华北、华东、华中、西北、南方电网划分, 选用国家主管部门最近年份公布的相应区域电网排放因子进行计算。热力供应的二氧化碳排放因子暂按 0.11tCO₂/GJ 计, 待政府主管部门发布官方数据后应采用官方发布数据并保持更新。

7.5 温室气体二氧化碳当量

7.5.1 排放量计算

除二氧化碳外, 其他温室气体的碳排放量应该按照公式 7-30 计算。

$$C_{qt} = N_i \times GWP_i \quad (7-30)$$

式中:

C_{qt} ——温室气体的碳排放量, tCO₂e;

N_i ——第 i 种温室气体的数量;

GWP_i ——第 i 种温室气体的全球变暖潜值。

7.5.2 温室气体 GWP 值可根据附表 C 确定。

8 废弃物碳排放

废弃物主要包含废气、污泥, 针对废气处置, 计算公式如下:

$$C_{fqw} = C_{qt} + C_{wn} \quad (7-31)$$

式中:

C_{fqw} ——废弃物处置的碳排放总量;

C_{qt} ——废气处置的碳排放量;

C_{wn} ——污泥处置的碳排放量。

8.1 废气处理

8.1.1 一般规定

8.1.1.1 电子工业废水处理系统应采用有毒有害废气散发量少的废水处理工艺和设备, 并应采用有效的措施对废水处理过程中所产生的有毒有害废气进行必要的处置, 废气污染物的排放浓度和排放速率均应符合项目环境影响评价的要求。

8.1.1.2 电子工业废水处理系统废气处置工艺应根据处理要求、场地情况、技术经济等因素综合比较确定。通常可采用的方法有废气洗涤工艺、吸附以及生物过滤工艺等。对排放要求高的场合宜采用多种处理工艺组合。

8.1.1.3 电子工业废水处理系统废气处理装置收集的废气量按经常散发有毒有害气体的构筑物和设备的风量计算。废气风量应按公式 8-1 计算。

$$Q = Q1 + Q2 \quad (8-1)$$

$$Q2 = K \times Q1 \quad (8-2)$$

式中:

Q ——废气处理装置收集的废气量, m^3/h ;

$Q1$ ——废气处理装置需处置的构筑物或设备排放的废气量, m^3/h ;

$Q2$ ——收集系统漏失风量, m^3/h ;

K ——漏失风量系数可按 10%计。

8.1.1.4 废气处理装置需处置的构筑物或设备排放的废气量宜根据构筑物或设备的种类、散发废气的水面面积、封闭程度以及封闭空间体积等因素综合确定。如无实测数据可按下列要求确定:

1) 曝气处理构筑物或设备的废气量按曝气量的 110%计算;

2) 污泥浓缩池等构筑物或设备废气量按单位水面面积 $3\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 计算, 同时增加 1 次/h~2 次/h 的站房空间换气量;

3) 封闭设备按封闭空间体积换气次数 6 次/h~8 次/h 计;

4) 半封闭设备或设备通气口按集气罩开口处抽气流速为 0.6m/s 计。

8.1.1.5 综合利用过程中产生的酸碱气体、含尘废气等有害气体应采用负压、集气罩等有效收集, 配备相应的尾气处理设施, 减少废气无组织排放。

8.1.1.6 综合利用工艺产生的氯气、硫酸雾、氯化氢、氨等酸碱气体, 应采用喷淋净化等方式处理, 氯气、硫酸雾、氯化氢等符合 DB32/4041 排放控制要求, 氨符合 GB14554 的排放控制要求。

8.1.1.7 干燥产生的含尘废气应采用袋式除尘等高效除尘方式, 符合 DB32/4041 的排放要求。

8.1.2 废气洗涤装置

8.1.2.1 洗涤处理废气装置应包括洗涤塔、洗涤液循环系统、投药系统、除雾装置和电气控制系统等。

8.1.2.2 洗涤处理废气装置应根据废气的成份、浓度和排放标准针对性地设置水洗、酸洗、碱洗、氧化等洗涤系统。

8.1.2.3 洗涤处理废气装置所选择的洗涤剂符合下列规定:

a) 容量大、选择性高、价廉易得;

b) 化学稳定性好、腐蚀性小、无毒;

c) 不易起泡、黏性小;

d) 洗涤废液易于处理。

8.1.3 活性炭吸附装置

8.1.3.1 活性炭吸附工艺宜用于进气浓度较低的废气处理。

8.1.3.2 活性炭吸附废气处理装置应根据臭气浓度、处理要求、活性炭吸附容量确定吸附系统的空塔停留时间和活性炭质量。

8.1.3.3 活性炭吸附废气处理装置应符合下列规定:

a) 应根据臭气排放要求和活性炭吸附容量等因素确定活性炭的再生次数和更换周期。

b) 臭气湿度过高时应增加除湿措施。

c) 活性炭料宜采用颗粒活性炭, 颗粒粒径宜 $3\text{mm} \sim 4\text{mm}$, 孔隙率宜为 $0.5 \sim 0.65$, 比表面积不宜小于 $900\text{m}^2/\text{g}$ 。

8.1.3.4 活性炭层的填充密度宜为 $350\text{kg}/\text{m}^3 \sim 550\text{kg}/\text{m}^3$ 。

8.1.4 生物过滤装置

8.1.4.1 生物过滤工艺的空塔停留时间不宜小于 15s 空塔气速不宜大于 $200\text{m}/\text{h} \sim 500\text{m}/\text{h}$ 单层填料层高度不宜超过 3m。在寒冷地区宜适当增加生物处理装置的空塔停留时间。

8.1.4.2 生物过滤装置填料层的有效体积和高度应按下列公式计算:

$$V = Q \times T / 3600 \quad (8-3)$$

$$H = v \times T / 3600 \quad (8-4)$$

式中：

V ——填料层有效体积， m^3 ；

Q ——臭气流量， m^3/h ；

T ——空塔停留时间， s ；

H ——填料层高度， m ；

v ——空塔气速， m/h 。

8.2 污泥处理

8.2.1 污泥处置一般规定

8.2.1.1 污泥处理与处置应符合减量化、稳定化、无害化的原则，可以利用的污泥宜综合利用。

8.2.1.2 危险废物的污泥应于一般污泥分开处理与处置。

8.2.1.3 污泥处理过程中产生的臭气宜妥善处理。

8.2.1.4 污泥处理过程中产生的污水应返回污水处理构筑物处理。

8.2.1.5 污泥处理量应包括污水物化、生物处理各系统排出的污泥，并应根据污水处理工艺或按类似水质类似处理工艺的运行数据确定。污泥处理设施的规模应与污水处理的排泥操作相适应。

8.2.2 废水处理系统污泥产量应根据实际工程情况或参照同类行业确定。

8.2.3 污泥处理工艺应综合考虑污泥的最终处置方式确定，其处理工艺包括污泥浓缩、污泥均质、污泥脱水等。污泥处置应根据污泥性质采用下列处置方法：

8.2.3.1 属于危险废物的污泥，采用焚烧方法处置时应符合现行国家标准《危险废物焚烧污染控制标准》GB 18484 的有关规定；采用填埋方法处置时应符合现行国家标准《危险废物填埋污染控制标准》GB 18598 的有关规定。

8.2.3.2 属于一般工业固体废物的污泥，其处置应符合现行国家标准《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》GB 18599 的有关规定。

8.2.3.3 属于一般有机污泥的，其处置宜按城市污水处理厂污泥的处置方法。

8.2.4 污泥处理过程碳排放计算

8.2.4.1 污泥处理处置过程中由各种微生物活动引起的 CO_2 的排放是生物成因的碳排放，是已经存在的 CO_2 通过大气循环过程再释放到大气中的过程，不计入碳排放。

8.2.4.2 污泥厌氧消化过程中产生的 CO_2 以及污泥焚烧所产生的 CO_2 ， CH_4 和 N_2O 应纳入碳排放计算。

8.2.4.1 厌氧消化

污泥厌氧消化过程产生的 CO_2 和 CH_4 按照公式(8-5)、(8-6)计算。

$$M_{CO_2, 沼气} = 0.27Q_{污泥} (VSS_{0, 厌氧污泥} - VSS_{e, 厌氧污泥}) \times 10^{-3} + 0.58Q_{污泥} \times HRT_{厌氧消化} \times$$

$$X_{MLVSS} \times K_d \times 10^{-3} \quad (8-5)$$

$$M_{CH_4, \text{沼气}} = 0.25Q_{\text{污泥}}(VSS_{0, \text{污泥厌氧}} - VSS_{e, \text{污泥厌氧}}) \times 10^{-3} - 0.05Y_{\text{厌氧}}Q_{\text{污泥}} \times (VSS_{0, \text{厌氧污泥}} - VSS_{e, \text{厌氧污泥}}) \times 10^{-3} \quad (8-6)$$

式中:

$M_{CO_2, \text{沼气}}$ ——污泥厌氧消化生成的沼气中 CO_2 的量, $kg CO_2/d$;

$M_{CH_4, \text{沼气}}$ ——污泥厌氧消化生成的沼气中 CH_4 的量, $kg CH_4/d$;

$Q_{\text{污泥}}$ ——污水厂总污泥产量, m^3/d ;

$VSS_{0, \text{污泥厌氧}}$ ——厌氧消化池进泥 VSS, mg/L ;

$VSS_{e, \text{污泥厌氧}}$ ——厌氧消化池排泥 VSS, mg/L ;

$MLVSS_{\text{污泥厌氧池}}$ ——污泥厌氧消化池中混合液挥发性悬浮固体平均浓度, mg/L ;

$HRT_{\text{厌氧消化}}$ ——污泥厌氧消化池水力停留时间, d ;

K_d ——衰减系数, d^{-1} ;

$Y_{\text{厌氧}}$ ——厌氧池污泥产率系数, $kg MLVSS/kg BOD_5$, 通常取 0.08。

污泥厌氧消化产生的化石源 CO_2 直接排放量($kg CO_2/d$)为式 8-7:

$$M_{\text{化石碳}CO_2, \text{厌氧消化}} = M_{CO_2, \text{沼气}} \times FCF_{\text{沼气}} + M_{CH_4, \text{沼气}} \times 95\% \times FCF_{\text{沼气}} \quad (8-7)$$

式中:

$FCF_{\text{沼气}}$ ——沼气中的化石碳比例, 可以取 2%。

污泥厌氧消化泄漏的 CH_4 直接排放量($kg CH_4/d$)为式 8-8:

$$M_{CH_4, \text{厌氧消化}} = M_{CH_4, \text{沼气}} \times 5\% \quad (8-8)$$

污泥厌氧消化总温室气体排放量 ($kg CO_2e/m^3_{\text{污泥}}$)为式 8-9:

$$M_{CO_2 \text{ 当量}, \text{total}} = M_{\text{化石碳}CO_2, \text{厌氧消化}} + 21M_{CH_4, \text{厌氧消化}} = 11.6HRT_{\text{厌氧消化}} \times MLVSS_{\text{污泥厌氧池}} \times K_d \times 10^{-6} + 272(VSS_{0, \text{厌氧污泥}} - VSS_{e, \text{污泥厌氧}}) \times 10^{-6} \quad (8-9)$$

8.2.4.2 堆肥

污泥好氧堆肥处理过程产生的 CO_2 直接排放量 ($kgCO_2/d$)为 8-10:

$$M_{CO_2, \text{堆肥}} = M_{\text{污泥}} \times DOC \times DOC_f \times 44/12 \quad (8-10)$$

式中:

DOC——污泥中可降解的有机碳比例, 可以采用 IPCC 发展中国家推荐值 15%;

DOC_f ——可分解的 DOC 比例, 取 0.67。

污泥堆肥产生温室气体 N_2O 产生量($kg N_2O/d$)见 8-11 :

$$M_{N_2O, \text{堆肥}} = M_{\text{污泥}} \times EF_{N_2O, \text{堆肥}} \times 10^{-3} \quad (8-11)$$

式中:

$EF_{N_2O, \text{堆肥}}$ ——污泥填埋过程的 N_2O 排放因子, $g N_2O/kg_{\text{堆肥污泥}}$ (干重取 0.6, 湿重取 0.3)

$$\begin{aligned}
M_{CO_2 \text{ 当量, 堆肥}} &= FCF_{\text{堆肥污泥}} \times M_{CO_2 \text{ 堆肥}} + 298M_{N_{2O, \text{ 堆肥}}} \\
&= 47.9M_{\text{污泥}} \times 10^{-3} + 298M_{\text{污泥}} \times EF_{N_{2O, \text{ 堆肥}}} \times 10^{-3}
\end{aligned}
\tag{8-12}$$

式中：

$FCF_{\text{堆肥污泥}}$ ——堆肥污泥中化石碳比例（本核算方法中取 12%）

8.2.4.3 卫生填埋

污泥填埋所造成的 CO_2 和 CH_4 直接排放量计算如式 8-13、8-14：

$$M_{CH_4, \text{ 填埋}} = M_{\text{污泥}} \times DOC \times DOC_f \times MCF \times F \times 16/12 \tag{8-13}$$

$$M_{CO_2, \text{ 填埋}} = M_{\text{污泥}} \times DOC \times DOC_f \times (1 - MCF \times F) \times 44/12 \tag{8-14}$$

式中：

DOC ——污泥中可降解的有机碳比例，采用 IPCC 发展中国家推荐值，15%；

DOC_f ——可分解的 DOC 比例（采用 IPCC 推荐值，50%）；

MCF —— CH_4 修正因子（厌氧填埋时取 1）；

F ——产生的填埋气中 CH_4 比例（采用 IPCC 推荐值，50%）。

污泥厌氧填埋所产生的总温室气体排放量 ($kg CO_2$ 当量/d)为式 8-15：

$$M_{CO_2, \text{ 填埋}} = FCF_{\text{填埋污泥}} \times M_{CO_2, \text{ 填埋}} + 21M_{CH_4, \text{ 填埋}} = 1.07M_{\text{污泥}} \tag{8-15}$$

式中：

$FCF_{\text{填埋污泥}}$ ——填埋污泥中化石碳比例，取 12%。

8.2.4.4 土地利用

污泥土地利用过程中主要释放的是 CH_4 ，而 CO_2 和 N_2O 产生的量较少可以忽略，则该过程产生的总温室气体量 ($kg CO_2e/d$)为：

$$M_{CO_2 \text{ 当量, 土地利用}} = 21 \times EF_{CH_4, \text{ 土地利用}} \times M_{\text{污泥}} \times 10^{-3} = 66.8 \times M_{\text{污泥}} \times 10^{-3} \tag{8-16}$$

式中：

$EF_{CH_4, \text{ 土地利用}}$ ——污泥土地利用的 CH_4 排放因子， $g CH_4/kg$ 污泥（取 3.18）

8.2.4.5 焚烧

污泥焚烧产生的化石源 CO_2 直接排放量 ($kg CO_2/d$)为：

$$M_{\text{化石碳}CO_2, \text{ 焚烧}} = M_{\text{污泥}} \times d \times CF \times FCF_{\text{剩余污泥}} \times OF \times 44/12 = 0.38M_{\text{污泥}} \times d_m \times CF \tag{8-17}$$

式中：

d_m ——需焚烧污泥中干物质含量（湿重），%；
 CF ——干物质中的碳比例（总的碳含量），%；
 $FCF_{\text{剩余污泥}}$ ——化石碳在碳的总含量中的比例，%，本核算方法中取 12%
 OF ——氧化因子，%，缺省值取 0。
 污泥焚烧过程中产生 N_2O 为：

$$M_{N_2O, \text{焚烧}} = M_{\text{污泥}} \times EF_{N_2O, \text{焚烧}} \times 10^{-3} \quad (8-18)$$

式中：

$EF_{N_2O, \text{焚烧}}$ ——污泥焚烧过程的 N_2O 排放因子，g N_2O /kg 焚烧污泥，干重取 0.99，湿重取 0.9。
 污泥焚烧所产生总温室气体排放量 (kg CO_2e/d)为：

$$M_{CO_2 \text{当量}, \text{焚烧}} = M_{\text{化石碳}CO_2, \text{焚烧}} + 298M_{N_2O, \text{焚烧}} = 0.38M_{\text{污泥}} \times d_m \times CF + 298 M_{\text{污泥}} \times EF_{N_2O, \text{焚烧}} \times 10^{-3} \quad (8-19)$$

8.3 其他化学物质处理

8.3.1 对于废水处理残留的化学物质，可以根据具体情况选择化学稀释、中和处理或者再利用等方法处理。

8.3.2 残渣处理环节产生的碳排放应按照公式 8-20 计算。

$$C_{gy} = \sum N_i EF_j \quad (8-20)$$

式中：

C_{gy} ——处理残渣的碳排放总量；
 N_i ——第 i 种残渣的数量；
 EF_j ——第 j 种工艺的单位碳排放因子。

8.3.3 工艺的选取应根据具体残渣类型确定，残渣的数量应按实结算，工艺的单位碳排放因子参照附录 D 和补充说明。

9 药剂运输、废料外运碳排放

9.1 该部分的运输包含药剂从采购地运输到废水处理厂、反应后残渣运输到下一地点集中或分别处理的碳排放。

9.2 药剂运输阶段碳排放按照公式 9-1 计算。

$$C_{ys} = \sum_{i=1}^n M_i D_i T_i \quad (9-1)$$

式中：

C_{ys} ——药剂运输过程碳排放；
 M_i ——药剂消耗量；
 D_i ——平均运输距离；
 T_i ——单位重量对应运输工具的运输碳排放因子；
 i ——药剂种类。

9.3 药剂采购和集中处理运输距离应当按照实际运输路程结算。

9.4 药剂运输阶段的碳排放因子应包含药剂从采购地到施工现场的直接碳排放和运输过程消耗能源的

生产碳排放。运输阶段药剂碳排放因子可按照本标准附录的缺省值取值。



附录 A

(参考性)

常见碳排放因子

常见药品、运输车、药品包装碳排放因子见表A.1、A.2、A.3。

表 A.1 常见药品碳排放因子

材料	碳排放因子
苯乙烯	2.55kgCO ₂ /kg
盐酸(32%电子级)	1.6kgCO ₂ /kg
液碱(45%)	1.12kgCO ₂ /kg
硫酸(50%)	0.80tCO ₂ /t
天然萤石(参考生石灰)	1.25kgCO ₂ /kg
生石灰	1.25kgCO ₂ /kg
药品 WWT WB-1002	1.6tCO ₂ /t
药品 WWT A801	1.6tCO ₂ /t
药品 WWT NaHSO ₃	1.83tCO ₂ /t
药品 WWT NaClO	0.92tCO ₂ /t
药品 WWT 柠檬酸	0.67tCO ₂ /t
药品 WWT 硫酸亚铁	1.72tCO ₂ /t
药品 WWT K300	1.6tCO ₂ /t
药品 WWT NaOH	0.56tCO ₂ /t
药品 WWT 阴 PAM	1.5tCO ₂ /t
药品 WWT 阳 PAM	1.5tCO ₂ /t
药品 WWT CaCl ₂	0.3tCO ₂ /t
药品 WWT H ₂ SO ₄	0.354tCO ₂ /t
药品 WWT PAC	1.62tCO ₂ /t
药品 WWT K800	1.6tCO ₂ /t
药品 WWT 消泡剂	1.6tCO ₂ /t
药品 WWT MgCl ₂	0.3tCO ₂ /t
药品 WWT FR110	1.6tCO ₂ /t
m-Endo agar LES	1.940kgCO ₂ e/kg
正己烷	0.927kgCO ₂ e/kg
亚硝酸钠	4.07kgCO ₂ e/kg
硅藻土	1.02kgCO ₂ e/kg
重铬酸钾标准溶液	4.09kgCO ₂ e/kg
酒石酸锶钾	1.94kgCO ₂ e/kg
乙烯	2.14tCO ₂ e/t
丁二烯	12tCO ₂ e/t
苯乙烯	16.8tCO ₂ e/t
甲醇	1.63tCO ₂ e/t
乙二醇	3.38tCO ₂ e/t
福尔马林(37%甲醛溶液)	2.04tCO ₂ e/t
甲缩醛	5.84tCO ₂ e/t
对苯二甲酸	2.27tCO ₂ e/t
环氧乙烷	5.84tCO ₂ e/t
丙烯腈	7.88tCO ₂ e/t
丙烯酸甲酯	20.49tCO ₂ e/t

材料	碳排放因子
聚碳酸亚丙酯	4.52tCO ₂ e/t
聚丙烯	5.98tCO ₂ e/t
聚乙烯	0.57tCO ₂ e/t
聚氯乙烯	1.77tCO ₂ e/t
丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物	16.6tCO ₂ e/t
聚碳酸酯	1.37tCO ₂ e/t
氢氧化钠	1.59tCO ₂ e/t
聚酯树脂	72.65tCO ₂ e/t
丙酸	0.86tCO ₂ e/t
聚氯乙烯	1.72tCO ₂ e/t
聚乙烯	0.6tCO ₂ e/t
玉米秸秆基乙酰丙酸乙酯	7.8tCO ₂ e/t
乙烯	8.93tCO ₂ e/t
石脑油制乙烯	1.98tCO ₂ e/t
煤基甲醇制乙烯	7.23tCO ₂ e/t
天然气基乙烷制乙烯	20.11tCO ₂ e/t
生物基乙醇制乙烯	6.38tCO ₂ e/t
乙醇平均	2.41tCO ₂ e/t
玉米燃料乙醇	2.53tCO ₂ e/t
木薯燃料乙醇	1.8tCO ₂ e/t
玉米芯燃料乙醇	2.9tCO ₂ e/t
生物质热解多元醇	51.16tCO ₂ e/t
煤制甲醇	3.47tCO ₂ e/t
氧化镁平均	2.07tCO ₂ e/t
轻质氧化镁 LCM94	1.79tCO ₂ e/t
轻质氧化镁 LCM92	1.71tCO ₂ e/t
轻质氧化镁 LCM90	1.63tCO ₂ e/t
重质氧化镁 SM97	2.6tCO ₂ e/t
重质氧化镁 SM94	2.66tCO ₂ e/t
重质氧化镁 SM90	2tCO ₂ e/t
电熔镁砂 FM980 (I)	9.85tCO ₂ e/t
电熔镁砂 FM980 (II)	10.32tCO ₂ e/t
硫酸	0.80tCO ₂ /t
氢氧化钠	1.59tCO ₂ e/t
有机/无机混凝剂	2.35tCO ₂ e/t
重金属捕集剂	tCO ₂ e/t
次氯酸钠	1.98tCO ₂ e/t
氯化钠	3.78tCO ₂ e/t
氯气	4.9tCO ₂ e/t
滤料	1.08tCO ₂ e/t
萃取剂	3.5tCO ₂ e/t
硫酸亚铁	12.4tCO ₂ e/t
Mg (NH ₄) PO ₄ · 6H ₂ O	14.5tCO ₂ e/t
CaCl ₂	8.9tCO ₂ e/t
FeCl ₃	3.46tCO ₂ e/t
MgCl ₂	4.23tCO ₂ e/t
双氧水	1.19tCO ₂ e/t
硫酸亚铁	16.08tCO ₂ e/t
纯氧	0.8tCO ₂ e/t

材料	碳排放因子
氧化剂（紫外线氧化）	1.67tCO ₂ e/t
铁	2.084tCO ₂ e/t
碳	1.08tCO ₂ e/t
铝	10.4tCO ₂ e/t
吸附剂	4.78tCO ₂ e/t
树脂	7.34tCO ₂ e/t
树脂再生液	3.98tCO ₂ e/t
次氯酸钠	2.97tCO ₂ e/t
二氧化氯	2.34tCO ₂ e/t
磷酸氢二钠	7.42tCO ₂ e/t



表 A.2 常见运输车碳排放因子

运输方式类别	碳排放因子[$\text{kg CO}_2\text{e}/(\text{t} \cdot \text{km})$]
轻型汽油货车运输（载重 2t）	0.334
中型汽油货车运输（载重 8t）	0.115
重型汽油货车运输（载重 10t）	0.104
重型汽油货车运输（载重 18t）	0.104
轻型柴油货车运输（载重 2t）	0.286
中型柴油货车运输（载重 8t）	0.179
重型柴油货车运输（载重 10t）	0.162
重型柴油货车运输（载重 18t）	0.129
重型柴油货车运输（载重 30t）	0.078
重型柴油货车运输（载重 46t）	0.057
电力机车运输	0.010
内燃机车运输	0.011

表 A. 3 常见药品包装碳排放因子

物品名称	碳排放因子
手套	17.31t CO ₂ e/ t
分离膜	



附录 B

(参考性)

电子工业废水处理阶段与碳排放来源

不同工艺排放系数见表 B.1。

电子工业废水处理阶段与碳排放来源见表 B.2。

表 B.1 工艺—排放系数表

工艺名称	工艺类型	二氧化碳系数 α	备注
高级氧化法	物化处理	1	包括芬顿氧化法、臭氧氧化法、超临界水氧化法、紫外线氧化法。
混凝沉淀法	物化处理	0	借助正交试验进一步分析验证，得到混凝最佳反应条件为：PAC 投加量 250mg/L、PAM 投加量 2.5mg/L、反应时间 20min、pH=7。此时，废水 COD 去除效率最高，为 20.2%。
碳滤法	物化处理	0	吸附、过滤
酸析法	物化处理	0	有机物主要以 R-COO- 的形式存在，酸化后反应生成 R-COOH，该物质不溶于水，且密度小于水，易浮于水面，可通过打捞浮渣去除。
铁碳微电解法	物化处理	0	铁碳微电解处理废水的技术是基于原电池反应、氧化还原反应、电化学等原理，利用铁、碳形成的微电池产生“微电解”作用，产生包括催化、置换、凝聚、絮凝、吸附等共同作用的废水处理技术。

表 B.2 电子工业废水处理阶段与碳排放来源

处理阶段	方法	类别	碳排放来源	备注
预处理	酸碱中和	物化反应	加药：硫酸/氢氧化钠	
	混凝沉淀	物化反应	加药：有机/无机混凝剂、重金属捕集剂和设备运行	搅拌装置 污泥处置
	加氯杀菌	物化反应	加药：次氯酸钠/氯化钠/氯气	
	砂滤	物化反应	滤料更换和设备运行	滤池运维
	萃取法	物化反应	萃取剂	
	酸化破乳	物化反应	加药：硫酸	
	破络	物化反应	加药：硫酸亚铁	
	气浮法	物化反应	溶气罐运行	
	隔油处理	物化反应	——	
	水解酸化	生化反应	微生物 CO ₂ 排出和设备运行	
后处理	磷酸铵镁脱氨氮法	物化反应	加药：Mg (NH ₄) PO ₄ ·6H ₂ O	
	吹脱法	物化反应	加药：硫酸/氢氧化钠和设备运行	高浓度（蒸汽）低浓度（空气） 废气处理
	化学沉淀法	物化反应	加药：CaCl ₂ , FeCl ₃ , MgCl ₂	废渣处置
	芬顿氧化	物化反应	加药：双氧水、硫酸亚铁以及处理中 CO ₂ 排出	
	臭氧氧化	物化反应	纯氧生产和设备运行以及处理中 CO ₂ 排出	臭氧发生器
	紫外线氧化	物化反应	加药：氧化剂，设备运行以及处理中 CO ₂ 排出	
	酸析法	物化反应	加药：硫酸	
	电解	物化反应	设备运行（消耗：铁碳填料）	污泥处理（含氰废水产生 CO ₂ ）
	电凝聚	物化反应	可溶性阳极（铝、铁）和设备运行	污泥处置（含氰废水产生 CO ₂ ）
	微滤(MF)	物化反应	膜更换，设备运行	
	吸附法	物化反应	加药：吸附剂和吸附剂再生过程	
	离子交换	物化反应	树脂生产、树脂再生液生产	
	折点加氯法	物化反应	加药：次氯酸钠	
	碱性氯化法	物化反应	加药：二氧化氯	
	磷酸铵镁脱氨氮法	物化反应	加药：磷酸氢二钠和氯化镁	
	AAO 法	生化反应	微生物 CO ₂ 排出和设备运行	污泥处置
	MBR	生化反应	微生物 CO ₂ 排出，设备运行和膜更换	污泥处置
	曝气生物滤池	生化反应	微生物 CO ₂ 排出和设备运行	
	上流式厌氧污泥床反应器（UASB）	生化反应	设备运行	沼气处理
	回用深度处理	滤芯式过滤器（MF）	物化反应	设备运维
超滤(UF)		物化反应	设备运维	超滤膜采用先气洗后水洗

处理阶段	方法	类别	碳排放来源	备注
				膜更换
	碳滤	物化反应	活性炭吸附塔建设，活性炭生产，配套设施运维	
	反渗透(RO)	物化反应	设备运维 杀菌剂，MAS208A 阻垢剂，酸洗剂柠檬酸或 HCl，碱洗剂 NaOH	反渗透膜采用先酸洗后碱洗浓缩液处置 膜更换 保安过滤器、高压泵、反渗透膜组、阻垢剂加药装置、清洗系统
	连续电去离子技术 EDI	物化反应	设备运维	浓缩液处置 膜更换
	紫外线杀菌	物化反应	设备运维	
	二级 AO	生化反应	微生物 CO ₂ 排出和设备运行	
	MBR	生化反应	同上	

注：[1]加药所需药品，以及某些工艺消耗的原料的生产过程会产生碳排放，具体的碳排放情况参照《中国碳核算数据库》；

[2]设备运行除了备注提到的主要设备，如果运行中使用搅拌装置，加药泵，循环水泵，压力泵，真空泵，溶气泵，鼓风机，废气吸收装置，污泥脱水机等各类机械设备根据运行时间和功率一律纳入碳排放计算；

[3]构筑物除了具体工艺的反应池，还包括配套设备占用的建筑。例如：储存池、缓冲池、加药间、污泥池、泵房、鼓风机房、储药间、控制室等；

[4]污泥处置包括污泥脱水和运输过程的碳排放，此外考虑对工艺中产生废气等副产物的收集处理过程中的碳排放。

[5]当回用水作为冷却水系统补充水时，处理工艺采用混凝沉淀+过滤等物化处理方式以及 AO 和 MBR 等生化处理方式。当回用水需要达到纯水标准，则需要通过超滤、反渗透、EDI 等深度处理工艺。

附录 C

(参考性)

各温室气体全球变暖潜值 (GWP)

各温室气体全球变暖潜值 (GWP) 见表 C.1。

表 C.1 各温室气体的全球变暖潜值 (GWP)

气体名称	特定时间跨度的全球变暖潜值 (GWP)		
	20 年	100 年	500 年
二氧化碳	1	1	1
甲烷	72	25	7.6
一氧化氮	275	296	156
氧化亚氮	289	298	153
二氯二氟甲烷	11000	10900	5200
二氟一氯甲烷	5160	1810	549
六氟化硫	16300	22800	32600
三氟甲烷	9400	12000	10000
四氟乙烷	3300	1300	400

附录 D

(参考性)

废弃物碳排放来源

污泥处置、危险废弃物处置及废弃处置的碳排放来源见表 D.1、表 D.2、表 D.3。

表 D.1 污泥处置碳排放来源

技术路线	碳排放来源	备注
厌氧消化	设备运行能耗、药耗，厌氧消化过程溢出沼气	设施、基建、设备运行能耗 具体参照设备功率铭牌
好氧发酵	微生物直接 CO ₂ 碳排放、设备运行能耗、氧气以及药品制备生产	设施、基建、设备运行能耗 具体参照设备功率铭牌
深度脱水	药品制备生产和设备运行能耗 能耗	设施、基建
卫生填埋	土方开挖	接收与贮存设施、分析与鉴别系统、预处理设施、填埋处置设施(其中包括, 防渗系统、渗滤液收集和导排系统)、封场覆盖系统、渗滤液和废水处理系统、环境监测系统、应急设施
干化焚烧	直接 CO ₂ 碳排放、设备运行能耗、药品制备生产	废气处理、设施、基建, 设备运行能耗具体参照设备功率铭牌
污泥堆肥	微生物产生 CO ₂	设施、基建, 设备运行能耗 具体参照设备功率铭牌
污泥气化	直接 CO ₂ 碳排放、能耗、药品制备生产	设施、基建, 设备运行能耗 具体参照设备功率铭牌

表 D.2 危险废弃物处置碳排放来源

废弃物类型	处置方式	碳排放
含氟污泥	生活污水污泥共熔处理、浮选富集回收利用、金属冶炼助熔剂、烧制陶瓷、烧制建材、水泥固化、制造吸附材料	运营能耗、药耗、基建
芬顿铁泥	填埋、焚烧、水泥基固化、资源化利用（主要集中在水处理中的应用和新材料的制备）	运营能耗、药耗、基建
浓缩液	<p>1. Fenton 法处理成分复杂、浓度较高、色度大的反渗透浓缩液；</p> <p>2. 采用混凝—吸附法处理 RO 浓缩水，一定条件下出水可以满足二级排放标准 $V(\text{Fe Cl}_3):V(\text{PAM})=1:2$，$\text{pH}=6.5$，活性炭投加量为 50 g/L；</p> <p>3. 离子交换膜色谱吸附浓缩水中氮磷，经过脱附之后，以磷酸铵镁盐形式沉淀，达到回收水中氮磷的目的；</p> <p>4. 浓缩液回用（浓缩液经过沉淀、水洗、酸解等步骤达到硫酸镍初步纯化）</p> <p>膜浓缩液处理方法包括回灌法、高级氧化法、焚烧法和蒸发法</p>	运营能耗、药耗、基建
重金属污泥	<p>1. 固化/稳定化技术是将污泥与固化剂混合并强化处理</p> <p>2. 材料化是利用污泥为原料或辅料生产建筑材料、陶瓷材料、磁性铁氧体等材料</p> <p>3. 热化学处理技术是指电镀污泥在高温作用下，某些组分分解、氧化，水分及可挥发物质脱除，有毒成分降低、体积减小、有价金属富集，重金属由非稳定态向稳定态转化</p> <p>4. 资源化利用（火法为对重金属污泥进行烧结，产物主要为金属合金。湿法主要有酸浸法、氨浸法以及微生物浸出法）</p>	运营能耗、药耗、基建
废旧环氧树脂	<p>1. 对废旧环氧树脂进行热解处理，能够对废旧环氧树脂中的金属物质进行回收，同时也能将废旧环氧树脂中玻璃纤维进行回收再利用。</p> <p>2. 物理法主要是指将废旧环氧树脂粉碎成粒径为 30 目左右的粒子，再利用水或空气实现金属粒子与非金属粒子的分离，利用这些非金属粒子可以制作下水管道、建筑材料，同时还能够生产高附加值产品，是废旧环氧树脂资源化利用的典型。</p> <p>3. 超临界流体反应，分离出来的小分子可以直接作为燃料使用，同时可以将其作为化工的原材料</p> <p>4. 溶剂法，生成小分子有机化合物。可以作为生产环氧树脂的原材料，残渣可以作为生产环氧树脂复合材料的原材料</p>	运营能耗、药耗、基建
废活性炭	<p>1. 加热再生法，脱附解析</p> <p>2. 化学药剂法</p> <p>3. 湿式氧化再生法</p> <p>4. 生物再生法</p>	

表 D. 3 废气处置碳排放来源
表 D. 3. 1 不同技术路线碳排放来源

技术路线	碳排放来源	备注
废气洗涤	洗涤液循环系统能耗、投药、除雾装置和电气能耗	洗涤塔建设, 设备运行能耗具体参照设备功率铭牌
废气吸附	吸附剂、除湿等装置能耗	设施建设, 设备运行能耗具体参照设备功率铭牌
废气生物过滤	滤料、风机和喷淋等装置能耗	设施建设

表 D. 3. 2 不同工艺碳排放量

工艺	温室气体	直接碳排放量/ (g (CO ₂ 当量) /m ³)	间接碳排放/ (g (CO ₂ 当量) /m ³)
AO 工艺	CO ₂	163.7	202.89
	N ₂ O	175.4	
	CH ₄	4.5	
SBR 工艺	CO ₂	334.6	327.96
	N ₂ O	480.2	
	CH ₄	4.5	
基准模拟模型 1 (BSM1) 污水处理厂	CH ₄ , N ₂ O, CO ₂	154.0	880.00
曝气沉砂池, 初次沉淀池、曝气池、混凝和絮凝、二次沉淀池	CH ₄ , CO ₂	163.0	128.30