

LCA 数据库专题竞赛参赛报告

参赛小组信息：

LCA 数据集名称：水污染治理工程-MSBR 工艺技术-尾水回用-中国-2017

小组成员：蒋慧、解璐佳、于诗桐、江惠娟、黄烯茜

指导老师：宋晓倩、靳强

大学/学院：上海交通大学/环境科学与工程学院、中英国际低碳学院

一. 技术代表性分类和目标代表性定义

本小组选择【水污染治理工程】作为 LCA 研究的目标产品。

通过查阅资料，对“水污染治理工程 LCA”的技术代表性进行了分类分析，并最终明确定义了本研究的目标代表性。

1. 水污染治理工程的技术代表性分类分析

(1) 技术代表性的基本分类与单元过程划分

表 1 水污染治理工程的技术代表性基本分类与单元过程划分

分类方法	分类结果与解释
1、按基本工艺技术分类	按工艺原理的不同分为物理法、化学法、物化法和生物法。 本表以下分类均采用生物法中的 MSBR （改良式序列间歇）工艺技术。
2、按主要原料种类分类	污水按照其种类可分为：工业废水、农业废水、生活污水、交通运输废水、服务业废水、集中式污染治理设施废水、地表径流、其他废水。 本表以下分类基于工业废水和生活污水的比例约为 45: 55 实际污水处理。
3.在数据调查范围中划分单元过程	水污染治理工程通常从污水进入污水处理厂开始到污泥的最终处置过程为止。 从各种资料中分生产过程的数据可得性考虑，LCA 模型中可以划分 4 个单元过程： 一级处理、二级处理、深度处理、污泥处置。

(2) 单元过程的技术代表性细分

表 2 水污染治理单元过程的技术代表性细分

单元过程 技术 代表性细分	一级处理	二级处理	深度处理	污泥处置
(1) 产品规格 型号	未区分	未区分	未区分	未区分
(2) 原辅料类型	工业废水和生活污水的比例约为 45:55 实际污水	醋酸 聚合氯化铝 电	次氯酸钠 二氧化氯 盐酸 氢氧化钠 聚合氯化铝	聚合硫酸铁 聚丙烯酰胺
(3) 能耗类型	电力	电力	电力	电力
(4) 工艺设备 类型	工艺： • 格栅 • 沉淀 • 气浮 设备： 立式干式污水泵 板式细格栅 中压冲洗水泵 罗茨鼓风机 砂水分离器	工艺： • MSBR 工艺 • 氧化沟系列工艺 • A ² /O 系列工艺 • SBR 系列工艺 设备： 污泥回流泵 厌氧混合液回流泵 剩余污泥泵 污泥提升泵	工艺： • 混凝沉淀 • 过滤 • 活性炭吸附 • 臭氧氧化 设备： 滤布过滤装置 反冲洗泵 PAC 加药计量泵 中和泵 冷冻干燥机 自清洗过滤器	工艺： 未区分 设备： 污泥浓缩机 污泥螺杆泵
(5) 生产规模 类型	小型 1~2 万 t/d 小型 2~5 万 t/d 大型 >5 万 t/d	小型 1~2 万 t/d 小型 2~5 万 t/d 大型 >5 万 t/d	小型 1~2 万 t/d 小型 2~5 万 t/d 大型 >5 万 t/d	未区分
(6) 辅助工艺设 备类型	AOE 除臭 活性炭吸附	生物除臭 活性炭吸附	未区分	AOE 除臭

2. 目标代表性定义

(1) 选定技术代表性

从资料调研中知道，MSBR 技术是根据 SBR 技术的特点，结合传统的活性污泥法技术而研究出的一种更为理想的污水处理系统，具有工艺流程简单、控制灵活、单元操作简单、占地面积小、出水水质稳定等特点。因此 MSBR 工艺是水污染治理 LCA 数据集开发的重要基本技术代表性。

除了上述基本技术代表性外，污水处理后的尾水的处理与处置方法也是影响 LCA 结果的重要因素之一，污水直排在一定程度上也是对资源的浪费及环境的破坏，再生利用既能减少新鲜水的使用量，又能减少废水的排放量，因此其排放方式会对环境造成较大影响，需要细分。

根据尾水处理的不同方式，得到 LCA 技术代表性划分如表 3。

表 3 尾水处理方式

类别	说明
尾水直排	污水处理后尾水达到相应排放标准，直接排入水环境中。
尾水回用	尾水达到相应回用标准后可作补充水源、工业用水、农林牧渔业用水、城镇杂用水、景观用水等再生回用。

(2) 选定目标代表性

本 LCA 研究的目标代表性定义为：以污水处理厂收集的实际污水（工业废水和生活污水比例约为 45:55）为主要原料，以电力为主要能源，采用 MSBR 技术对污水进行处理，且污水处理后的尾水进行回用。数据代表中国 2017 年行业（技术）平均水平。

选定的目标代表性应写入 LCA 模型的目标与范围定义中（如下图中 eFootprint 界面截图所示），最后也应写入 LCA 数据集文档（见后）和 LCA 报告中。

The screenshot shows the '目标与范围定义' (Goal and Scope Definition) section of the eFootprint software interface. The interface is divided into several columns and rows of input fields and dropdown menus. The '规格型号' (Specification Number) is '2.5万立方米/天'. The '研究类型' (Research Type) is '企业LCA-代表特定企业及供应链水平 (用于企业产品报告/工艺设备选型分析)'. The '系统边界' (System Boundary) is '生命周期-生产阶段 (从资源开采到产品出厂)'. The '产地' (Location) is '中国'. The '工艺设备' (Process Equipment) includes '进水泵房、曝气沉砂池、MSBR池、滤布滤池、超滤车间、鼓风机房、污泥浓缩池、除臭装置'. The '主要原料' (Main Raw Materials) are '原污水、絮凝剂、碳源等'. The '主要能耗' (Main Energy Consumption) is '电力'. The '数据质量评估' (Data Quality Assessment) is 'CLCD方法'. The '项目信息' (Project Information) includes '项目名称', '委托方', '委托目的', and '潜在应用'.

图 1 LCA 模型的目标代表性定义（eFootprint 截图）

另外，通过上述分析还可以注意到，除了 MSBR 技术和尾水排放方式外，还有一些技术因素会导致 LCA 结果显著变化，例如不同水质的原水，在一级处理、二级处理过程、深度处理中应用不同的技术，脱水污泥进一步采用直接填埋或焚烧等方式进行处理等，其 LCA 结果将有显著不同，应该单独收集数据，开发独立的 LCA 数据集。

二、LCA 数据集文档

数据集名称：水污染治理工程-MSBR 工艺技术-尾水回用-中国-2017

1、系统功能与系统边界

系统功能与基准流：MSBR 工艺城市污水处理，1 立方米

LCA 研究类型：报告代表企业 LCA-代表此企业及供应链水平（采用实际生产数据）

产地：中国

基准年：2017 年

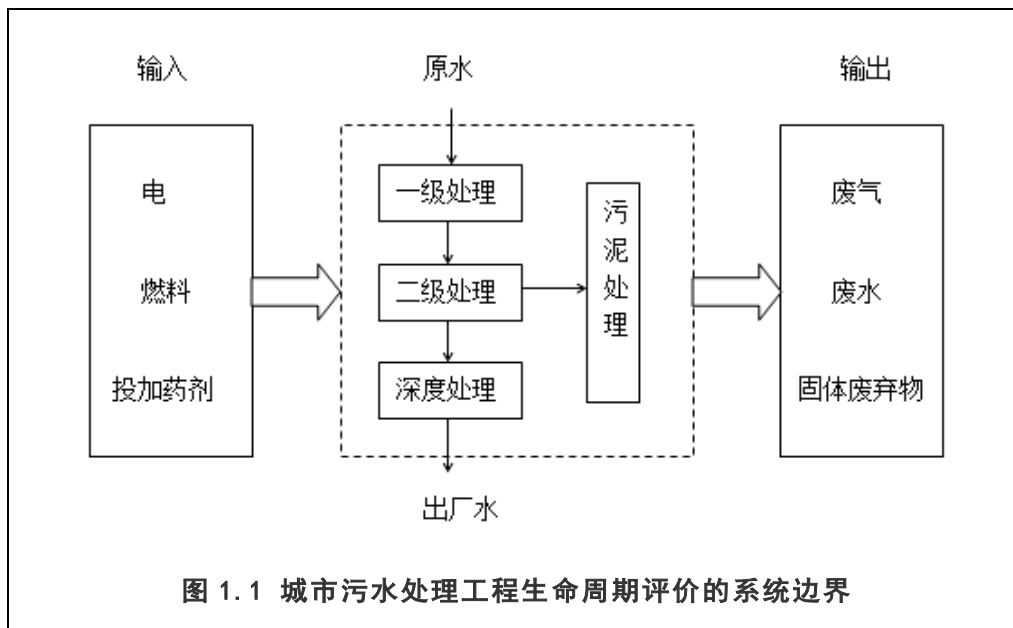
系统边界：本研究的系统边界为生命周期-生产阶段（从资源开采到产品出厂）

- **实景过程：**

划分为污水的一级处理、二级处理、深度处理及污泥处置四个单元过程，包含主要原料运输和末端治理。

- **背景过程：**采用背景数据库，追溯了各种原料的上游生产过程直到资源开采为止。

数据背景	来自 CLCD-China-ECER 0.8.1 数据库： 电力、乙酸、盐酸、次氯酸钠、聚合氯化铝、盐酸、聚合硫酸铁、聚丙烯酰胺、再生回用水、药剂运输、污泥运输等。
	来自 Ecoinvent-Public 2.2.0 数据库： 氢氧化钠



2、实景过程数据代表性

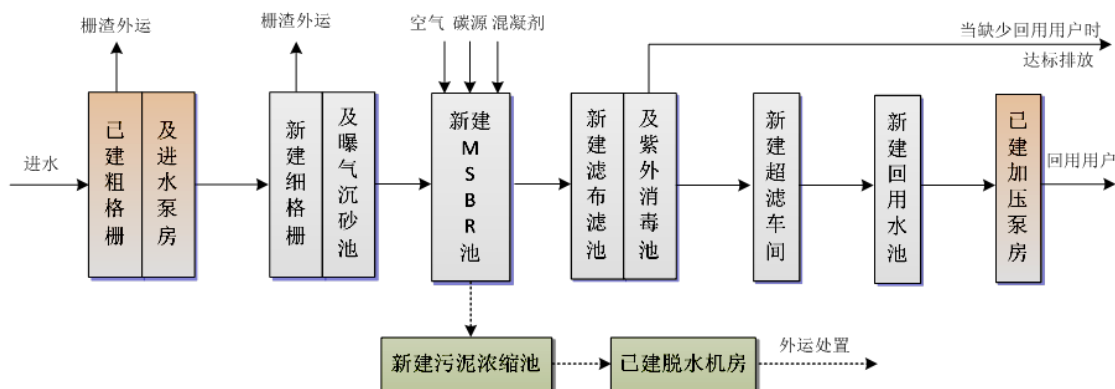
产品种类与规格：水污染治理工程（ 1m^3 污水处理）

主要技术代表性：✦ 改良式序列间歇（MSBR）工艺技术、常规原料（原水，絮凝剂，碳源等）、常规能耗（电力）、污水混合比例（工业废水和生活污水比例为 45:55）

类别 过程名称	工艺设备与规模	主要消耗	主要排放
一级处理	格栅、沉淀、气浮	电力	格栅渣、沉砂、硫酸雾、 H_2S 、 NH_3 、 NO_x
二级处理	MSBR 工艺技术	电力、乙酸、聚合氯化铝、电	H_2S 、 NH_3
深度处理	滤布过滤装置等	电力、次氯酸钠、盐酸、氢氧化钠、聚合氯化铝	COD、TP、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$
污泥处置	污泥浓缩机、污泥螺杆泵	电力、聚合硫酸铁、聚丙烯酰胺	污泥（含水率 60%）、硫酸雾、 H_2S 、 NH_3 、 NO_x

主要数据来源： 代表企业及供应链实际数据（企业名称：无锡 xx 污水处理厂），污水处理行业研究论文，模型包含了行业排放标准里所有的排放，并补充了来自文献资料统计的排放数据。

实景过程工艺流程图（图片来自《无锡市 xx 水处理厂四期二阶段工程项目环境影响报告书》）



3、建模方法

副产品： 再生回用水，本研究报告中副产品采用的分配方法为系统扩展法分配方法。

再生循环： 处理后的污水可进行再生回用

取舍规则： 符合 CLCD 取舍规则。污水处理厂收集的实际污水可视为零环境影响的原料，不追溯上游过程。

缺失过程： 无

背景过程数据库： 研究过程中用到的中国生命周期基础数据库（CLCD）是由亿科开发，基于中国基础工业系统生命周期核心模型的行业平均数据库。CLCD 数据库包括国内主要能源、交通运输和基础原材料的清单数据集。

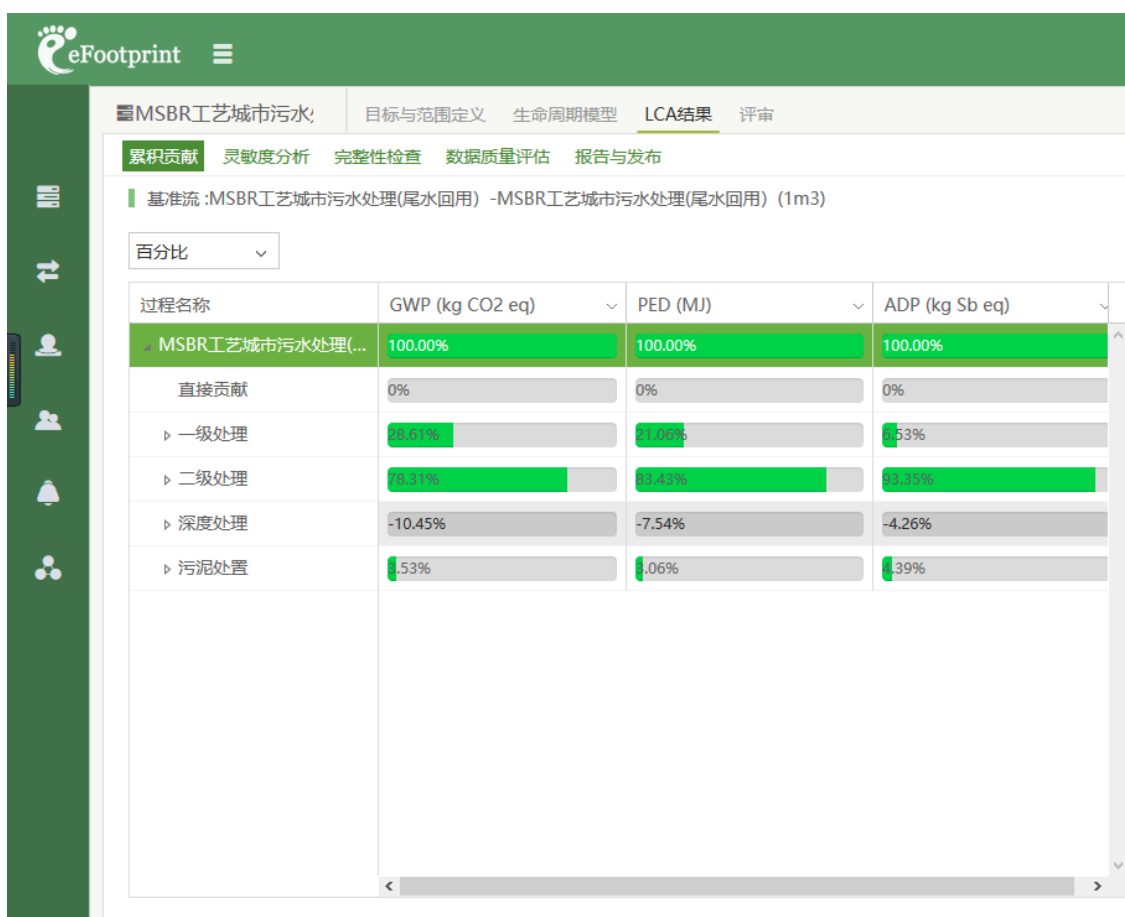
本研究涉及的能源、原料所采用的数据库主要包括 CLCD-China-ECER 0.8.1 和 Ecoinvent-Public 2.2.0 等。

软件工具： 本研究采用 eFootprint 软件系统，建立了 MSBR 工艺城市污水处理（尾水回用/直排）生命周期模型，并计算得到 LCA 结果。eFootprint 软件系统是由亿科环境科技有限公司研发的在线 LCA 分析软件，支持全生命周期过程分析，并内

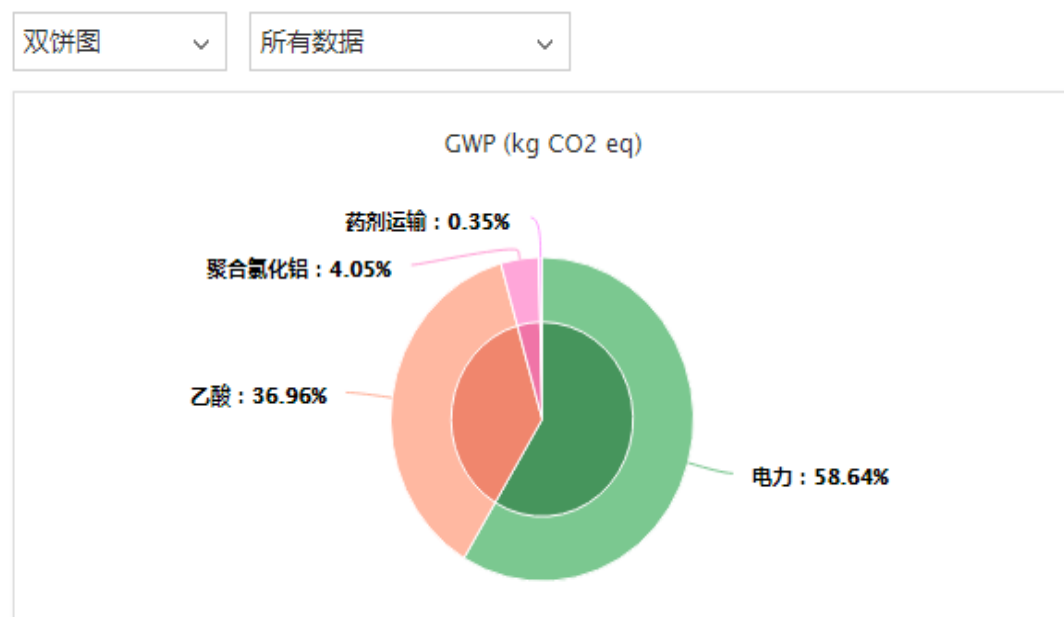
置了中国生命周期基础数据库（CLCD）、欧盟 ELCD 数据库和瑞士的 Ecoinvent 数据库。

4、LCA 结果分析

- **过程累积贡献分析：** 过程累积贡献是指该过程直接贡献及其所有上游过程的贡献（即原料消耗所贡献）的累加值。由于过程通常是包含多条清单数据，所以过程贡献分析其实是多项清单数据灵敏度的累积。以 GWP（全球暖化/碳足迹）、PED（初级能源消耗）、ADP（非生物资源消耗潜值）三个指标为例。



- **单个过程的贡献分析：** 以二级处理过程和全球暖化指标的 Pareto 图和双饼图为例。



- **清单数据灵敏度分析:** 清单数据灵敏度是指清单数据单位变化率引起的相应指标变化率。通过分析清单数据对各指标的灵敏度，并配合改进潜力评估，从而辨识最有效的改进点。表中罗列了 GWP (kg CO2 eq) 灵敏度 > 0.5% 的清单数据。

eFootprint 官方操作指南 积分: 40 1968869352...

MSBR工艺城市污水 目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审

累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布 返回结果列表

基准流: MSBR工艺城市污水处理(尾水回用) - MSBR工艺城市污水处理(尾水回用) (1m3)

过程名称	清单名称	上游数据类型	GWP (kg CO2 eq)	PED (MJ)	ADP (kg Sb eq)
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	二级处理	实景UP	78.31%	83.43%	93.35%
二级处理	电力	背景AP	45.92%	33.86%	9.55%
深度处理	电	背景AP	44.88%	33.03%	10.24%
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	一级处理	实景UP	28.61%	21.06%	6.53%
一级处理	电力	背景AP	28.61%	21.06%	6.53%
二级处理	乙酸	背景AP	28.94%	47.25%	77.50%
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	污泥处置	实景UP	3.53%	3.06%	4.39%
二级处理	聚合氯化铝	背景AP	3.18%	2.09%	5.77%
污泥处置	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%
污泥处置	污泥运输	背景AP	1.19%	0.93%	2.11%
一级处理	硫酸 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%
污泥处置	电	背景AP	1.53%	1.13%	0.35%
深度处理	次氯酸钠	背景AP	1.37%	0.99%	0.31%
一级处理	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%
污泥处置	氮氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	排放	0%	0%	0%

1 - 15 of 38 items

5、 CLCD 数据质量评估

- **识别重要数据:** eFootprint 计算每一项消耗或排放对各项 LCA 指标的灵敏度, 然后按其最大的灵敏度排序。

eFootprint 官方操作指南 积分: 40 1968869352...

MSBR工艺城市污水 目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审

累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布 返回结果列表

全部 一键评估

过程名称	清单名称	最大灵敏度	评估状态
深度处理	再生回用水	WU (kg):100.99%	已评估
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	深度处理	WU (kg):100.92%	已评估
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	二级处理	ADP (kg Sb eq):93.35%	已评估
二级处理	乙酸	ODP (kg CFC-11 eq):79.09%	已评估
深度处理	总氮 [排放到水体 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):56.01%	已评估
二级处理	电力	GWP (kg CO2 eq):45.92%	已评估
深度处理	电	GWP (kg CO2 eq):44.88%	已评估
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	污泥处置	POFP (kg NMVOC eq):36.14%	已评估
污泥处置	污泥运输	POFP (kg NMVOC eq):34.25%	已评估
MSBR工艺城市污水处理(尾水回用)	一级处理	AP (kg SO2 eq):30.43%	已评估
一级处理	电力	GWP (kg CO2 eq):28.61%	已评估
深度处理	总磷 [排放到水体 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):18.47%	已评估
深度处理	氨氮 [排放到水体 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):16.93%	已评估
深度处理	化学需氧量 [排放到水体 (未指定类型)]	EP (kg PO43-eq):6.77%	已评估
二级处理	聚合氯化铝	ADP (kg Sb eq):5.77%	已评估

1 - 15 of 35 items

查看评估结果

eFootprint 官方操作指南 积分: 40 1968869352...

MSBR工艺城市污水 目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审

累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布 返回结果列表

过程名称	清单名称	最大灵敏度	评估状态
污泥处置	聚丙烯酰胺	ODP (kg CFC-11 eq):4.45%	已评估
深度处理	氢氧化钠	ADP (kg Sb eq):4.24%	已评估
污泥处置	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):2.52%	已评估
一级处理	硫酸 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):1.66%	已评估
二级处理	药剂运输	POFP (kg NMVOC eq):1.63%	已评估
深度处理	次氯酸钠	RI (kg PM2.5 eq):1.54%	已评估
污泥处置	电	GWP (kg CO2 eq):1.53%	已评估
一级处理	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.99%	已评估
污泥处置	氮氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.83%	已评估
二级处理	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.80%	已评估
一级处理	氮氧化物 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.76%	已评估
污泥处置	硫酸 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.75%	已评估
深度处理	聚合氯化铝	ADP (kg Sb eq):0.63%	已评估
深度处理	药剂运输	POFP (kg NMVOC eq):0.33%	已评估
深度处理	盐酸	GWP (kg CO2 eq):0.31%	已评估

16 - 30 of 35 Items 查看评估结果

eFootprint 官方操作指南 积分: 40 1968869352...

MSBR工艺城市污水 目标与范围定义 生命周期模型 LCA结果 评审

累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布 返回结果列表

全部 一键评估

过程名称	清单名称	最大灵敏度	评估状态
污泥处置	硫化氢 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.23%	已评估
污泥处置	聚合硫酸铁	ADP (kg Sb eq):0.17%	已评估
一级处理	硫化氢 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.12%	已评估
二级处理	硫化氢 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):0.08%	已评估
污泥处置	药剂运输	POFP (kg NMVOC eq):0.04%	已评估

31 - 35 of 35 Items 查看评估结果

- 不确定度评估：eF/CLCD 系统采用谱系矩阵评估主要消耗和排放（灵敏度>1%）的不确定度，以及主要消耗连接的背景数据的匹配不确定度，下图以二级处理中乙酸为例。

清单数据不确定度评估

过程名称：二级处理；清单名称：乙酸；数量单位：0.04(kg)

清单数据资料不确定度评估

开 清单数据基础不确定度（自定义）：± %

评估项	实景过程目标代表性	清单数据实际代表性	不确定度(±)
(选填) 主要数据来源	<input type="text" value="代表企业及供应..."/>	<input type="text" value="环评报告/可研报..."/>	10.00%
(选填) 样本代表性	代表企业及供应链实际数据	<input type="text" value="> 75%全年产量..."/>	0%
(选填) 时间代表性	2017	<input type="text" value="2017"/> <input type="button" value="📅"/>	0%
(选填) 地理代表性	中国	<input type="text" value="中国"/>	0%
(选填) 技术代表性	<u>过程名称:二...</u>	<input type="text" value="从被研究企业得..."/>	0%

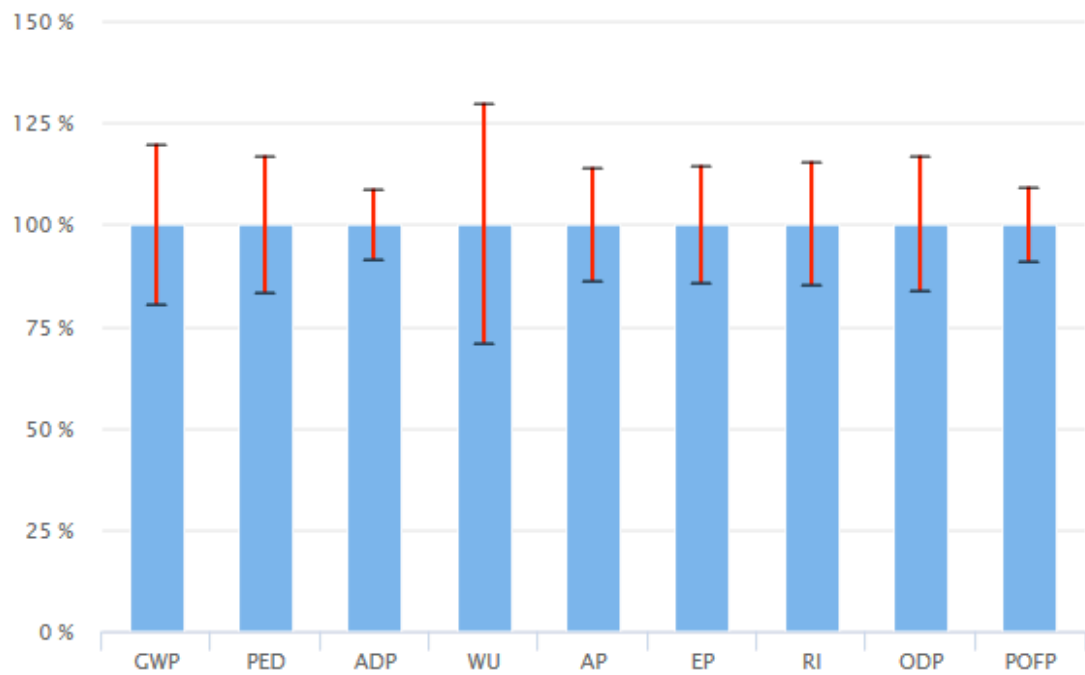
背景数据匹配不确定度评估

评估项	清单数据目标代表性	背景过程实际代表性	不确定度(±)
*主要数据来源	代表企业及供应链实际数据	代表行业平均数据	5.00%
*时间代表性	2017	2013	5.00%
*地理代表性	<input type="text" value="中国"/>	中国	0%
*种类规格代表性	<u>消耗清单:乙...</u>	<input type="text" value="消耗与原料的种..."/>	10.00%

评估

- LCA 结果的不确定度：最终得到每项 LCA 指标结果的不确定度，如下图。用户可以根据不确定度结果，补充收集数据，迭代改进。

LCA结果不确定度



指标名称	缩写(单位)	LCA结果	结果不确定度
气候变化	GWP(kg CO2 eq)	3.28e-1	±19.65%
初级能源消耗	PED(MJ)	5.83e0	±16.64%
非生物资源消耗潜值	ADP(kg Sb eq)	9.01e-7	±8.49%
水资源消耗	WU(kg)	-1.01e3	±29.44%
酸化	AP(kg SO2 eq)	1.97e-3	±13.97%
富营养化潜值	EP(kg PO43-eq)	9.75e-3	±14.48%
可吸入无机物	RI(kg PM2.5 eq)	5.83e-4	±15.04%
臭氧层消耗	ODP(kg CFC-11 eq)	8.66e-9	±16.54%
光化学臭氧合成	POFP(kg NMVOC eq)	4.23e-4	±9.05%

6、 数据集适用范围

- 污水 LCA 结果受污水种类和比例影响明显。作为示例，本数据集文档描述了基于工业废水和生活污水的比例约为 45：55 的实际污水处理的 LCA 的结果，不同原水水质对应 LCA 结果也会有所偏差。
- 虽然现污水处理厂尾水直排还比较多，但在国家鼓励和引导下，越来越多污水处理厂增加深度处理工艺使尾水达到回用水标准。2017 年 1 月 22 日发改委、住建部印发《“十三五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》，总投资约 5644 亿元，规划提出，到 2020 年底，城市和县城再生水率进一步提高，新增再生水利用设施规模 1505 万立方米/日。而目前污水再生回用技术多采取膜技术，MSBR 技术+滤布滤池+超滤技术能得到很好的出水水质，达到相关回用水回用标准，近年来在污水处理行业备受青睐，并有很好的发展前景，绝大多数情况下采用 MSBR+滤布滤池+超滤技术处理污水实现尾水回用可采用本数据集所建立的 LCA 模型。
- 另外，在一级处理、二级处理、深度处理过程中应用不同的技术、脱水污泥进一步采用直接填埋或焚烧等方式进行处理等，其 LCA 结果将有显著不同还需要另行收集数据，开展 LCA 研究。（其他污水处理方式，如采用 CAST、CASS、A20、氧化沟、FBR 等其他工艺处理污水）。