

基于 Gabi 方法的辽河流域不同污水处理工艺的生命周期评价

吕航^{1,2} 汤洁^{1,2} 杨尧^{1,2} 段宇聪^{1,2} 曲云柯^{1,2} 代策^{1,2} 李昭阳^{1,2*}

(1. 吉林大学地下水资源与环境教育部重点实验室, 长春 130012; 2. 吉林大学新能源与环境学院, 长春 130012)

摘要: 研究基于生命周期评价理论 (life cycle assessment, LCA) 和 Gabi 9.2 软件, 对吉林省辽河流域采用 A²O 工艺和 CASS 工艺的 2 家污水处理厂产生的环境影响进行生命周期评价。在 Gabi 9.2 中的 ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) 方法中, 基于资源枯竭、生态影响、人类影响 3 方面选取了 7 个评价指标用于贡献分析及敏感性分析, 结果表明: 1) A²O 处理工艺的环境影响要显著小于 CASS 工艺, 且目标的 2 个污水处理工艺的各阶段环境影响贡献中, 均表现为生物处理阶段 > 预处理阶段 > 污泥处理阶段; 2) A²O 工艺污水处理阶段的整个过程中, 对各种环境类别都产生了很大影响, 其中化石枯竭潜力 (fossil depletion potential, FDP) 是受影响最大的环境指标, 占总环境影响的 44.3%; 3) 针对污水处理过程中不同的处理阶段, 在预处理阶段, CASS 工艺对 FDP 环境影响值影响最大, 而生物处理阶段, A²O 工艺的 FDP 贡献值较其他阶段更大, 占总贡献值的 71%; 该生命周期评估研究的目的是评估不同污水处理工艺的污水处理厂对环境造成影响, 为决策者在选取污水处理工艺时, 提供一种对环境影响更小的方法。

关键词: 生命周期评价; 污水处理工艺; GaBi 软件; 辽河流域; 环境影响

LCA OF DIFFERENT WASTEWATER TREATMENT PROCESSES IN LIAO RIVER BASIN BASED ON GABI'S METHOD

Lv Hang^{1,2} Tang Jie^{1,2} Yang Yao^{1,2} Duan Yucong^{1,2} Qu Yunke^{1,2} Dai Ce^{1,2} Li Zhaoyang^{1,2*}

(1. Key Lab of Groundwater Resources and Environment, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012, China; 2. College of New Energy and Environment, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: Based on the life cycle assessment (LCA) theory and Gabi 9.2 software, this study conducted a life cycle assessment of the environmental impacts of two wastewater treatment plants using A²O and CASS processes in the Liaohe River basin of Jilin Province. In the ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) method in Gabi 9.2, seven evaluation indicators were selected for contribution analysis and sensitivity analysis based on three aspects: resource depletion, ecological impact, and human impact, the results showed that 1) environmental impact of the A²O treatment process is smaller than that of the CASS process, and the environmental impact of each stage of the two targeted wastewater treatment processes 2) the environmental impact of the A²O process has a significant impact on various environmental categories throughout the wastewater treatment stage, of which the fossil depletion potential (FDP) is the most affected environmental indicator, accounting for 44.3% of the total environmental impact. 44.3%, 3) for different treatment stages in the wastewater treatment process, in the pretreatment stage, the CASS process has the largest impact on the environmental impact value of FDP, while in the biological treatment stage, the FDP contribution of the A²O process is greater than the other stages, accounting for 71% of the total contribution; the purpose of this LCA study is to assess the environmental impact of wastewater treatment plants with different wastewater treatment processes, to provide decision makers in selecting wastewater treatment processes to provide a method with less

收稿日期: 2022-04-09

基金项目: 吉林省辽河流域污染防控与生态修复重大科技专项-流域水环境污染综合治理技术研发与示范 (20200503003SF); 吉林省科技发展计划项目 (20200403013SF)

第一作者: 吕航 (1997-), 女, 在读硕士, 主要研究方向为水污染治理。

* 通信作者: 李昭阳 (1981-), 女, 副教授, 主要研究方向为生态环境系统工程。

environmental impact.

Keywords: LCA; wastewater treatment plant; gabi software; liaohe basin; environmental impact

0 引言

随着工业的发展和人民生活水平的提高,水资源在逐渐受到破坏和污染,大部分城镇也逐渐建设了城镇污水处理厂。城镇污水处理是水污染控制的手段之一,但在处理过程中也会对环境产生一定影响^[1]。生命周期评价(LCA)是一种新兴的、具有生命力和发展前景的环境管理工具,用于从所谓的“摇篮到坟墓”的角度评估潜在环境风险和整个生命周期中使用的资源^[2],在国际上备受关注,正在越来越多地被应用到各个领域^[3]。LCA是对一种产品、一套工艺或者一项行动过程进行环境负荷的评价,通过对资源、能源的使用及环境排放的识别和量化,获得其对环境产生的影响^[4]。

近年来,LCA已被广泛用于评估城市水基础设施运作导致的环境贡献,其中包括污水处理厂(WWTPs)^[5]。在近年来的研究中,LCA在评估工艺技术的环境可持续性,以及在量化工艺及产品导致的环境问题中发挥重要作用^[6]。国际上广受认可的评价软件包括SimaPro、Gabi、TEAM等,评价模型有来自丹麦的EDIP方法、和使用较多的莱顿大学环境研究中心的CML2001方法、ReCiPe法、Eco-indicator等。国内近年针对此方面的研究越来越多,为我国的LCA提供应用支撑^[7]。

本研究区选在吉林省辽河流域,收集运行数据、查阅并分析国内外相关文献和背景数据库,采用LCA方法,对辽河流域A²O和CASS污水处理工艺进行评价,以评估其对该流域的环境影响。通过Gabi软件对资源、能源消耗等环境效益进行比较和评价,以期城镇污水处理厂的工艺选取提供一种优化的理论选择与评价工具^[8]。

1 评价方法

本研究基于ISO14040(2006)^[9]、ISO14044(2006)标准^[10],LCA考虑从以下4点进行分析:目标和范围定义、生命周期清单、生命周期影响评估、解释。

1.1 评价目标及范围

基于LCA方法,对比同一流域2个不同污水处理工艺运行过程中,资源、能源的消耗以及产生的环境影响进行对比评价。本研究中,研究区选在中国吉林省辽河流域怀德镇污水处理厂及东辽县污水处理厂^[11]。

(WWTP-A)污水处理厂A位于吉林省公主岭市怀德镇,占地面积7665 m²,项目总投资费用5367.36万元,已建成并投入使用的管网长度为12.37 km,处理能力为3000 t/d,全部为生活污水。污水处理工艺采用“改良A²O(VFL)池”工艺。设计出水水质为一级A,主要构筑物包括:粗细格栅、提升泵房、曝气沉砂池、A²O生物反应池、二沉池、污泥脱水间等。

(WWTP-B)污水处理厂B位于吉林省辽源市东辽县,占地面积5100 m²,2016年污水处理厂进行提标改造,总处理规模由10000 t/d扩建至20000 t/d。污水处理工艺采用CASS工艺,污水絮凝处理及污泥处理分别采用混凝剂PAC和絮凝剂PAM,设计出水水质为一级A,主要构筑物包括:粗细格栅、CASS池、二级提升泵池、高效沉淀池、污泥脱水间、紫外消毒间、鼓风机房等。图1、2分别为A²O、CASS工艺的工艺流程。

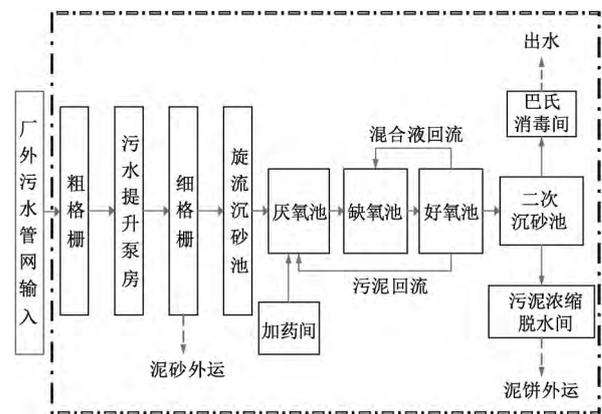


图1 A²O工艺工艺流程

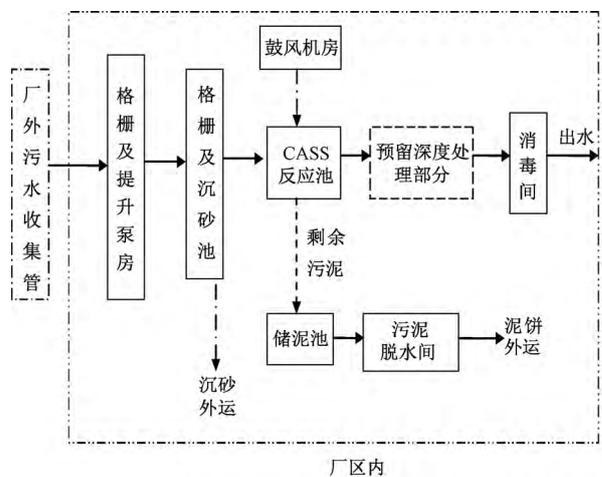


图2 CASS工艺工艺流程

本研究仅考虑污水处理厂运行阶段产生的环境影响,运行阶段所产生的环境影响远大于建设阶段和拆除阶段,所以不在评价范围内^[12,13]。评价功能单位(FU)设定为处理 10000 m³/d 污水所产生的环境影响。

1.2 清单分析

清单分析是生命周期评价的基础^[14],通过实际走访调查、文献查阅、环境影响评价报告、统计年鉴等报表数据的整理,对 A²O、CASS 工艺 2 个污水处理厂进行数据清单分析,见表 2。清单分析包括 2 类:输入流和输出流,输入流是指整个工艺流程中各个阶段投入的物料、药剂和能源等;输出流是指离开这个研究范围各个阶段的环境排放,包括废气、废水和固废。因此,假定污水处理厂消耗的电能均为硬煤发电产生。由于污水处理厂没有实际监测各个运行设备的耗电量,本研究的电耗为每个设备的额定功率与它的实际运行时间的乘积。在污水处理厂的运行过程中,固体废物主要包括炉渣和处理后的脱水污泥。由于 2 种工艺的最终污泥含水量不同,因此将 2 种废水处理工艺的污泥转换为 80% 的含水量进行比较和分析。

预处理阶段和生物处理阶段产生的温室气体包括 CO₂、CH₄、N₂O 等,而废水处理过程中排放的 CO₂ 被 IPCC 认为是通过微生物降解产生的生物炭,所以 CO₂ 不包括在排放气体清单中。直接排放的气体 CH₄ 和 N₂O 按照 IPCC 提供的方法计算;间接温室气体排放是指发电过程和化工生产过程的温室气体排放,由软件自动计算。根据污水处理厂的 COD 和 NH₃-N 去除率来计算 CH₄ 和 N₂O 气体排放量,计算公式见式(1)、(2)^[15]。

$$M_{\text{CH}_4} = \text{COD} \times EF_{\text{CH}_4} \quad (1)$$

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = \text{NH}_3\text{-N} \times EF_{\text{N}_2\text{O}} \quad (2)$$

式中: M_{CH_4} 为 CH₄ 气体排放,kg/d; $M_{\text{N}_2\text{O}}$ 为 N₂O 气体排放,kg/d;COD 为 COD 去除量,kg/d;NH₃-N 为 NH₃-N 去除量,kg/d; EF_{CH_4} 为 CH₄ 排放系数,0.025 kg CH₄/kg COD、 $EF_{\text{N}_2\text{O}}$ 为 N₂O 排放系数,0.035 kg N₂O/kg N。

背景数据有助于后续 LCA,如表 1 所示。本研究的背景数据基于生命周期评价软件的背景数据库,涉及电耗、油耗、药耗、卡车运输及填埋等内容,数据均来自 Gabi 软件数据库。

表 1 背景数据

项目	背景数据
电	CN: Electricity mix[electricity power]
药	Polyacrylamide /Polyaluminium Chloride
卡车	GLO:Truck, Euro1, 7.5~12t gross weight /5t payload capacity ts
柴油	CN: Diesel mix at refinery ts
填埋	EU-28: Biodegradable waste on landfill ts

表 2 辽河流域污水处理厂清单数据

项目	参数	A ² O	CASS	单位
输入流	COD	1920	2444.6	kg
	BOD	780	1000	kg
	NH ₃ -N	400	329.2	kg
	TN	450	408.3	kg
	TP	44.4	35.2	kg
	SS	530	1000	kg
输出流	COD	190	218.1	kg
	BOD	46	45	kg
	NH ₃ -N	8.2	21.2	kg
	TN	116	76.8	kg
	TP	1.8	1.6	kg
	SS	60	—	kg
药品	FeCl ₃	542.77	—	kg
	NaClO	396.67	—	kg
	PAM	6.027	10	kg
	PAC	—	150	kg
电耗量 (百分比)	预处理	56.28(12.6%)	216(24.17%)	kW·h
	生物处理	295.68(66.3%)	364.8(40.83%)	kW·h
	污泥处理	93.6(20.99%)	312.6(34.99%)	kW·h
	总计	445.92	893.4	kW·h
污泥处理	栅渣	960	360	kg
	脱水污泥	1995.62	1095.89	kg
气体排放量	CH ₄	43.25	55.66	kg
	N ₂ O	13.71	10.78	kg

1.3 生命周期影响评价

Gabi ts 软件用于 LCA 过程的建模和评估环境后果^[16]。本研究选择 Ecoinvent 数据库 3.6 版作为研究的背景数据,ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) 方法进行环境影响评估,环境影响类别分为资源枯竭,生态影响和人类影响 3 大类,考虑 7 个子类别作为重点评价指标,其中资源枯竭包括化石枯竭潜力 (fossil depletion potential, FDP)、光化学臭氧枯竭潜力 (photochemical ozone formation, POCP);生态影响包括气候变化 (climate change, CC)、淡水生态毒性 (freshwater eco-toxicity, FAETP)、土壤酸化 (terrestrial acidification, TA)、土壤生态毒性 (terrestrial eco-

toxicity, TETP), 人类影响包括人体毒性 (human toxicity, HTP)。该方法中包括的影响类别及化学当量单位见表 3。

表 3 ReCiPe 2016 v1.1 midpoint (H) 影响评估方法使用的影 响类别及化学当量的单位

影响指标	单位	表征因素
化石枯竭潜力	kg oil-eq	FDP
光化学臭氧枯竭潜力	kg NO _x -eq	POCP
气候变化	kg SO ₂ -eq	CC
淡水生态毒性	kg 1,4-DCB	FAETP
土壤酸化	kg SO ₂ -eq	TA
土壤生态毒性	kg 1,4-DCB	TETP
人体毒性	kg 1,4-DCB	HTP

2 解 释

2.1 特征化结果分析

为了使 2 种污水处理工艺的环境影响比较更清晰,本研究将 A²O 工艺对环境的 7 种影响类别的贡献值设为 1,再与 CASS 工艺的 7 种环境影响类别的特征化结果贡献值进行比较,其结果如图 3 所示。可知:CASS 工艺中 CC、FDP、FAETP、HTP、POCP、TA、TETP 的环境影响均高于 A²O 工艺,总体来说,2 种污

水处理工艺的 7 个环境影响指标类别的变化趋势相同,CASS 工艺在数值上要高于 A²O 工艺。气候变化是对 A²O 和 CASS 工艺均有较大影响的环境影响类别,其原因是由于我国污水处理厂仍以燃煤为基础的电力供给,故燃煤过程以及污水处理生物过程中会直接释放大量温室气体,造成对气候变化的影响较大。A²O 和 CASS 工艺的环境影响特征化数据如表 4 所示。

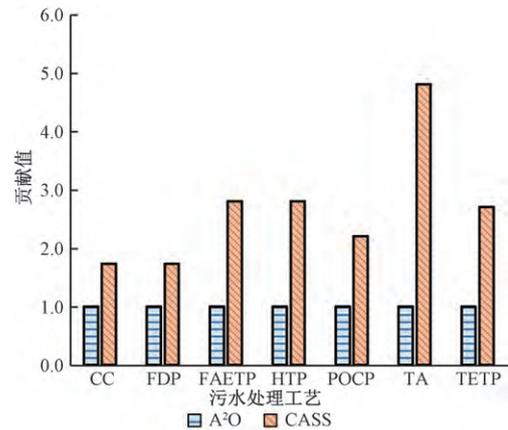


图 3 污水处理工艺的特征化结果比较

表 4 A²O 和 CASS 工艺的环境影响特征化数据

工艺	影响类别	单位	预处理	生物处理	污泥处理	总计
A ² O	CC	kg CO ₂ eq.	47.1	303	77.7	428
	FDP	kg oil eq.	11	70.7	18.1	99.8
	FAETP	kg 1,4-DB eq.	0.00214	0.0138	0.00354	0.0195
	HTP	kg 1,4-DB eq.	2.0808	13.334	3.4343	18.889
	POCP	kg NO _x eq.	0.1765	1.136	1.604	1.604
	TA	kg SO ₂ eq.	0.107	0.692	0.177	0.977
	TETP	kg 1,4-DB eq.	0.00214	0.0138	0.00354	0.01948
CASS	CC	kg CO ₂ eq.	385	93.6	263	742
	FDP	kg oil eq.	66.3	44.1	62.6	173
	FAETP	kg 1,4-DB eq.	0.02	0.0156	0.01919	0.0546
	HTP	kg 1,4-DB eq.	17.6461	17.604	17.639	52.8892
	POCP	kg NO _x eq.	0.6562	1.3833	1.4893	3.5288
	TA	kg SO ₂ eq.	1.76	1.54	1.388	4.69
	TETP	kg 1,4-DB eq.	0.0058	0.0373	0.0096	0.0525

2.2 不同污水处理阶段的特征化结果的分析

根据本研究的系统边界,A²O 和 CASS 工艺不同污水处理阶段各影响指标的贡献值如图 4 所示,预处理阶段,生物处理阶段,污泥处理阶段的 7 种影响类别贡献值大小各不相同,将每个环境影响指标的总贡献值设置为 100%,对两个污水处理工艺每个环境影响类别下不同污水处理阶段的环境概况比较分析。

根据图 4 可知,在不同的污水处理单元中,生物处理阶段对环境的影响值均占最大比例。且 A²O 工艺生物处理阶段对 CC、FDP、FAETP、HTP、TA、TETP 的影响贡献显著,贡献值达到 70.83%。

2.3 标准化结果分析

特征化的下一步是标准化,目的是将上述全部分类并特征化的影响因子进行量化,得到无量纲结果,使其转换为 1 个统一值,其目的是能够对相同范围内的所有环境影响进行比较,并可以此作为研究对象对环境影响的综合评价。环境影响加权评估潜在值具体计算公式如式(3)所示^[17]:

$$WP(j) = WF(j) \cdot NP(j) \quad (3)$$

本文通过 Recipe Midpoint (H) 的 7 个评价指标进行标准化处理。标准化结果如表 5 所示。结果表明:整个过程中 CASS 工艺的环境影响贡献均高于

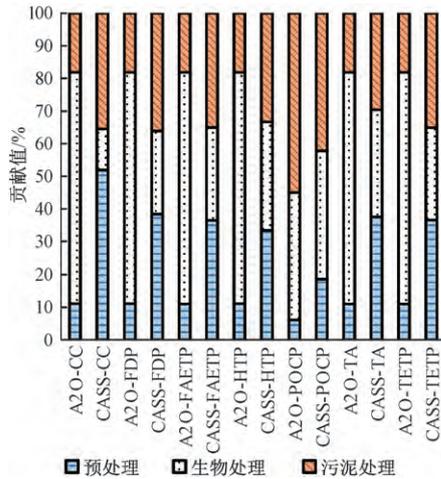


图4 不同处理阶段的特征化分析结果

A²O工艺(图5),A²O工艺污水处理阶段的整个过程中,FDP是受影响最大的环境指标(0.101),占总环

境影响的43%,其次为CC(0.0535),占总环境影响的23%,然后是PCCP(0.0453),占总环境影响的19%。而CASS工艺影响最大的环境影响类别也为FDP(0.176),占总环境影响的43%,CC(0.0928)和POCP(0.0786)次之,分别为23%和19%。标准化结果显示,FDP是2个污水处理厂最大的影响因素。

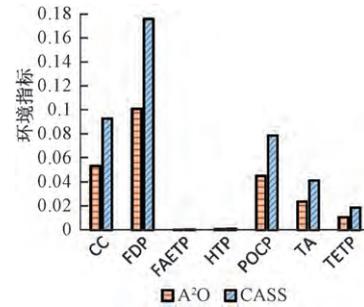


图5 污水处理工艺的标准化结果比较

表5 A²O和CASS过程的环境影响标准化结果

工艺	影响指标	单位	预处理	生物处理	污泥处理	总计
A ² O	CC	kg CO ₂ eq.	5.89E-03	3.79E-02	9.71E-03	5.35E-02
	FDP	kg oil eq.	1.11E-02	7.16E-02	1.83E-02	1.01E-01
	FAETP	kg 1,4-DB eq.	2.25E-05	1.45E-04	3.72E-05	2.05E-04
	HTP	kg 1,4-DB eq.	6.59E-05	4.22E-04	1.09E-04	5.98E-04
	POCP	kg NO _x eq.	4.98E-03	3.21E-02	4.53E-02	4.53E-02
	TA	kg SO ₂ eq.	2.61E-03	1.69E-02	4.31E-03	2.38E-02
	TETP	kg 1,4-DB eq.	2.14E-03	1.06E-02	3.80E-04	1.32E-02
CASS	CC	kg CO ₂ eq.	4.82E-02	1.17E-02	3.29E-02	9.28E-02
	FDP	kg oil eq.	6.74E-02	4.49E-02	6.37E-02	1.76E-01
	FAETP	kg 1,4-DB eq.	1.30E-04	1.02E-04	1.25E-04	3.56E-04
	HTP	kg 1,4-DB eq.	3.47E-04	3.46E-04	3.47E-04	1.04E-03
	POCP	kg NO _x eq.	1.46E-02	3.08E-02	3.32E-02	7.86E-02
	TA	kg SO ₂ eq.	1.55E-02	1.36E-02	1.22E-02	4.13E-02
	TETP	kg 1,4-DB eq.	6.80E-03	5.26E-03	6.54E-03	1.86E-02

2.4 不同影响类别的环境贡献值比较

对标准化结果中环境影响贡献值较高的指标进行单独分析。FDP是污水处理过程中,由于需要消耗化石燃料用于供电等过程造成的化石材料耗竭。由图6a可知:在A²O工艺中,由于生物处理阶段耗电量增加,FDP相较于预处理阶段和污泥处理阶段,环境贡献值最高,占总贡献值的71%,预处理阶段FDP贡献占11%,污泥处理占18%。

CC是大气中CO₂、CH₄等温室气体排放会产生温室效应,从而造成全球气温升高,引起气候变化。温室气体排放对环境起着重要影响,并且污水处理运行过程中大量产生,本研究将所有能够导致温室效应的物质由潜能因子转化为统一的CO₂当量表示。由图6b可知:标准化结果可以看出,CASS工艺对气候变化的贡献值要高于A²O,且CASS工艺污水在预处

理阶段CC的环境影响更为显著,占总贡献值的51.94%。A²O工艺的生物处理阶段CC在整个工艺流程中贡献最大,占总贡献值的70.84%。污水处理过程中,CO₂排放的评价标准数据为150~590 g CO₂/m³。同时污水处理过程中产生的N₂O也是温室气体,N₂O所造成的温室效应影响是CO₂的310倍。我国主要的发电方式为燃煤发电,发电厂的硬煤燃烧,垃圾填埋场的硬煤灰处理,煤矿开采和硫化物尾矿处理过程均会排放大量CO₂与CH₄等温室气体,故A²O工艺和CASS工艺生物处理电耗及预处理电耗部分产生的温室气体对CC的影响显著。

TETP是指排放的化合物对非人类生态毒性的影响,该指标与重金属的排放及耗电量密切相关,对污水处理系统进行生命周期评价时,生态毒性这一影响类别

十分重根据标准化后的结果可知,TETP 是对环境影响贡献第二大的指标数据,由图 6c 可知:A²O 工艺在生物处理阶段的 TETP 环境影响贡献值最大,占总贡献值的 80.79%。主要原因是生物处理阶段耗电量增加。

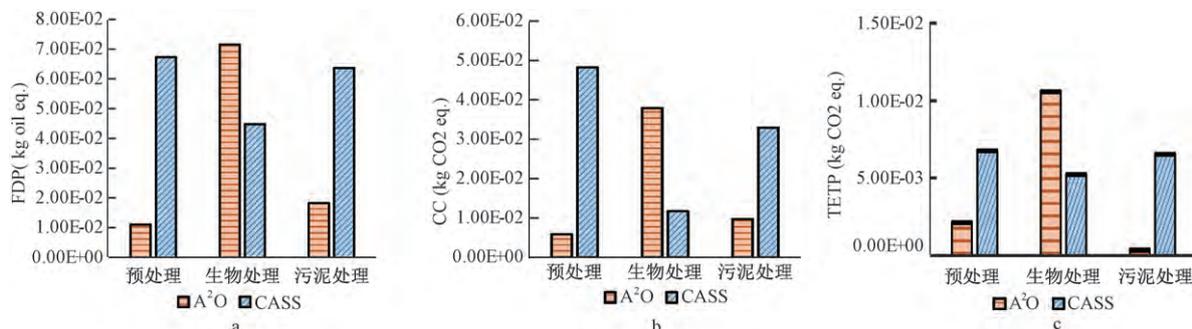


图 6 A²O 和 CASS 工艺不同影响类别的环境贡献值比较

3 结果与讨论

本研究通过 Gabi 9.2 软件针对位于吉林省辽河流域的 2 种不同处理工艺 (A²O、CASS) 的污水处理厂之间进行生命周期评价 (LCA), 此次评价是在 2 个污水处理厂日处理污水规模为 10000 m³/d 的基础上进行的。

结果表明:1)2 个不同的污水处理工艺中,CASS 工艺的总环境影响潜力较 A²O 工艺相比更加严重。根据标准化后结果,CASS 工艺的环境影响总贡献值为 0.41,A²O 的环境影响总贡献值为 0.24。

2)A²O 工艺污水处理阶段的整个过程中,FDP 是受影响最大的环境指标(0.101),占总环境影响的 44.3%,其次为 CC(0.0535),占总环境影响的 23%,然后是 POCP(0.0453),占总环境影响的 19%。而 CASS 工艺影响最大的环境影响类别也为 FDP(0.176),占总环境影响的 43%,CC(0.0928)和 POCP(0.0786)次之,分别为 23%和 19%。

3)针对污水处理过程中不同的处理阶段,在预处理阶段,CASS 工艺对 FDP 环境影响值影响最大,而生物处理阶段,A²O 工艺的 FDP 贡献值较其他阶段更大,占总贡献值的 71%。由于我国大部分污水处理厂仍处于燃煤发电,污水处理运行过程中,污水处理厂设备运行的高电耗间接导致化石燃料枯竭。CASS 工艺污水处理负荷较大,相较于 A²O 工艺,设备运行数量更高、运行时间更长,导致其产生的 FDP 的环境影响也更高。

除了 FDP 外,污水处理过程中对 CC 的影响也较大,本研究中 CASS 工艺对 CC 的贡献值要高于 A²O,

其中,生物处理电耗部分产生的污染物最大。由于燃煤发电过程中会产生大量重金属污染物,A²O 工艺和 CASS 工艺的主要贡献因子为砷、镍等重金属污染物,这些污染物通过土壤排放对 TETP 产生显著影响。

且 CASS 工艺污水在预处理阶段 CC 的环境影响更为显著,占总贡献值的 51.94%。针对 A²O 工艺,其生物处理阶段 CC 在整个工艺流程中贡献最大,占总贡献值的 70.84%。对气候变化影响的主要来源考虑大气中 CO₂、CH₄ 等温室气体的释放。我国主要的发电方式为燃煤发电,发电厂的硬煤燃烧、垃圾填埋场的硬煤灰处理、煤矿开采和硫化物尾矿处理过程均会排放大量 CO₂ 与 CH₄ 等温室气体,对气候变化产生严重影响。

TETP 是针对污水处理过程中排放的化合物对非人类生态毒性的影响,该指标与重金属排放及耗电量密切相关。CASS 工艺和 A²O 工艺的运行过程中,对 TETP 也产生了较大影响,其中 A²O 工艺在生物处理阶段的 TETP 环境影响贡献值最大,占总贡献值的 80.79%。

大部分生命周期影响都是因为污水处理过程中电力消耗以及处理后污水中残留的营养物质。2 个污水处理工艺的环境负担均以运行阶段为主。CASS 工艺的整个污水处理阶段都产生了相较于 A²O 工艺更大的环境影响,因此从环境角度来说,在研究区内 A²O 工艺是 1 项更合适的污水处理工艺。

研究证明了电力消耗在污水处理厂运行过程中,会产生较大的环境影响。目前可采取的降低电耗的解决方法是通过消耗可再生能源以及采用其他的污水处理技术降低耗电量。或者在污泥处理阶段减少耗电量,如采用厌氧消化、干燥污泥的汽化、热解和污泥焚烧发电。高污水处理厂能源利用效率(或减少能源的使用)和提高出水水质均有利于减少污水处

理厂造成的环境影响,但事实上,污水处理厂的耗能随着出水水质的提高而增加,不能盲目追求出水水质的提升,反而过度消耗能源也会造成环境的破坏,两者之间的平衡还需要决策者加以平衡,以达到使整个污水处理系统对环境造成的影响最小的目标。

参考文献

- [1] 吴玉珍. 基于生命周期评价的污水生化处理工艺对比及选择研究[D]. 吉林:东北电力大学,2018.
- [2] 白舜文. 基于 LCA 的城市污水系统评价体系 HIT. WATER 的建立与应用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.
- [3] 曾木海, 谢小龙, 杨涛. 污水处理厂提标改造工程深度处理方案[J]. 净水技术, 2021, 40(1):6.
- [4] 刘洪涛, 郑海霞, 陈俊, 等. 城镇污水处理厂污泥处理处置工艺生命周期评价[J]. 中国给水排水, 2013, 29(6):11-13.
- [5] BYRNE D M, LOHMAN H A C, COOK S M, et al. 2017. Life cycle assessment (LCA) of urban water infrastructure: emerging approaches to balance objectives and inform comprehensive decision-making[J]. Environ. Sci. Water Res. Technol, 2017, 3: 1002e1014.
- [6] SAAD A, ELGINOZ N, BABUNA F G, et al. Life cycle assessment of a large water treatment plant in Turkey [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(15): 14823-14834.
- [7] 刘夏璐, 王洪涛, 陈建, 等. 中国生命周期参考数据库的建立方法与基础模型[J]. 环境科学学报, 2010, 30(10): 2136-2144.
- [8] LIJO L, et al. Environmental assessment of farm-scaled anaerobic co-digestion for Bio-energy production. Waste Management, 2015, 41: 50-59.
- [9] ISO, 2006a. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. ISO 14040. Switzerland.
- [10] ISO, 2006b. Environmental management-life cycle assessment - requirements and guidelines management. ISO 14044. Switzerland.
- [11] LIU B, TANG J, LI Z, et al. Optimal selection of sewage treatment technologies in town areas: A coupled multi-criteria decision making model[J]. Environmental Management, 2020, 66(4):709-721.
- [12] WANG X, LIU J X, REN N Q, et al. Assessment of multiple sustainability demands for wastewater treatment alternatives: a refined evaluation scheme and case study [J]. Environmental Science Technology, 2012, 46: 5542-5549.
- [13] LI C H, BAI H T, LU Y Y, et al. Life-cycle assessment for coal based methanol production in China[J]. J. Clean. Prod, 2018, 188:1004e1017.
- [14] 王松庆, 王威, 张旭. 基于生命周期理论的严寒地区居住建筑能耗计算和分析[J]. 建筑大学, 2008(4):58-61.
- [15] Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Ngara T. and Anabe K. (eds). Published 2006 by IGES, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006g1/>. Volume 5: Waste, Chapter 6: Wastewater treatment und discharge.
- [16] 金栖凤. GaBi 软件在环境影响评价中的应用[D]. 苏州:苏州科技学院,2015.
- [17] 敖红光. 大庆王家围子地区燃油和燃煤供暖的生命周期评价[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

(上接第 796 页)

- [5] 杨雪姣, 孙福田. 基于 DEA 方法对农机设备优化选型的研究[J]. 农机化研究, 2014, 36(5): 62-65.
- [6] 孙健, 王前强. 运用 DEA 和 RSR 评价广西市级医院大型医用设备工作效率[J]. 中国卫生事业管理, 2017, 34(3): 201-204.
- [7] SEXTON, T R, SILKMAN R H, HOGAN A J. Data envelopment analysis: Critique and extensions[J]. New Directions for Program Evaluation, 1986, 32:73-105.
- [8] DOYLE, J, and GREEN R. Efficiency and Cross-efficiency in DEA: Derivations, Meanings and Uses [J]. Journal of the Operation Research Society, 1994, 45(5): 567-578.
- [9] ADLER, N, FRIEDMAN L, SINUANY S Z. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 140(2): 249-265.
- [10] 柳勇. 城镇污水处理厂不同种类鼓风机运行经济技术分析[J]. 绿色环保建材, 2017(9): 19-20, 22.
- [11] 彭育威, 吴守宪, 徐小湛. 利用 MATLAB 进行 DEA 交叉评价分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2004(5): 553-556.