

重庆市城市污水处理厂升级改造的 环境影响评价



重庆大学硕士学位论文
(学术学位)

学生姓名：杨 帆

指导教师：姜文超 副教授

专 业：市政工程

学科门类：工学

重庆大学城市建设与环境工程学院

二〇一四年四月

LCA-based Environmental Impact Assessment of Emission Standard Upgrading of Wastewater Treatment Plant in Chongqing



A Thesis Submitted to Chongqing University
in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Master's Degree of Engineering

By
Yang Fan

Supervised by Ass. Prof. Jiang Wenchao

Specialty: Municipal Engineering

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering of
Chongqing University, Chongqing, China

April, 2014

摘 要

水环境保护是我国目前以至今后较长一段时期内的重要任务。随着环境保护要求日益提高,城镇污水厂的排放标准也将进一步严格。目前我国不少城市或地区正在大力推进城市污水处理厂的升级提标改造,无疑将对当地受纳水体带来好的环境保护效果,然而由于升级改造可能带来药剂和能耗的增加,因此可能带来复杂的生命周期环境影响。对污水厂升级改造的生命周期环境影响进行研究,对于我国污水处理工艺的选择以及水环境保护政策与实践具有十分重要的意义。本文采用生命周期评价方法,对污水处理厂在其升级改造生命周期范围内的环境影响进行了对比分析,识别和判断了城市污水处理厂在升级改造后与升级改造前相比的环境影响变化。

本文根据采用生命周期评价的思想对污水处理厂升级改造前后过程进行了目标和范围的界定,将其生命周期范围划分为:原材料获取及运输与施工建设阶段和运营阶段两个部分,并且编制了污水处理厂升级改造前后生命周期范围内的分析清单。

以重庆市李家沱污水处理厂为对象,对其升级改造前后生命周期范围内的输入与输出数据进行现场调查和实地监测,并在相同水质排放标准情况下进行了对比分析;同时设计了三种升级提标工艺,即 A^2/O 工艺、 $A-A^2/O$ 工艺和 T 型氧化沟工艺。分析确定环境影响类别为:温室气体效应、化石燃料消耗、非化石燃料消耗、固体废弃物的占用空间、水质影响、雾霾聚集、水体富营养化、大气酸化、光化学烟雾、致癌和非致癌物质等 10 类,采用美国 EPA 公布的特征化模型对上述环境影响进行了特征化计算,采用层次分析法确定了不同环境影响类别的权重,对污水处理厂各类环境影响进行了量化处理。分析得出,李家沱污水处理厂升级改造后对生命周期环境影响较污水厂升级改造前总体上有所提高,水体富营养化潜能随着处理水平的提高而降低,从一级排放 B 标到一级排放 A 标,下降了 21.50%;但是,大气酸化、温室气体、化石燃料消耗、固体废弃物占用空间、雾霾聚集、光化学烟雾随着处理水平的提高呈现增加的趋势,致癌和非致癌物质影响随着高耗能处理技术的使用也在增加。温室气体效应从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 6.97%,主要由于电耗;化石燃料消耗从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 10.82%;固体废弃物占用空间从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 1.69%;雾霾聚集从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 2.79%;大气

酸化从一级排放 B 标到一级排放 A 标，增加了 7.32%；光化学烟雾从一级排放 B 标到一级排放 A 标，增加了 5.71%；致癌和非致癌物质从一级排放 B 标到一级排放 A 标，增加了 4.17%。根据上述计算分析结果，提出了相应的控制措施和建议。

关键词：城市污水处理厂，升级改造，生命周期评价，环境影响分析

ABSTRACT

Water environmental protection is an important task that the future for a long period of our country at present. With the increasing requirements of environmental protection, urban sewage treatment plant emission standards will also be further strict. At present our country a lot of city or region is vigorously promoting the upgrade of the city sewage treatment plant mentioned standard renovation, will undoubtedly bring good effect of environmental protection of the local receiving waters, however, due to the increasing upgrade may bring chemicals and energy, therefore may lead to complex life cycle environmental impact. Study on life cycle environmental impact to upgrade the sewage plant, is of great significance to the treatment choice of China's sewage and water environmental protection policy and practice. In this paper, by the method of life cycle assessment, the sewage treatment plant were analyzed in the upgrading transformation of life cycle environmental impact range, identification and judgment of the environmental impact of city sewage treatment plant in upgrading and upgrading of change.

According to the life cycle assessment before and after the upgrading process of sewage treatment plant for the definition of goal and scope, its life cycle is divided into two parts: the scope of access to raw materials and transportation and construction stage and operation stage, and the analysis of life cycle inventory within the scope of the transformation and upgrading of sewage treatment plant.

Making the Li Jia Tuo sewage treatment plant as the research object for field investigation and monitoring of the before and after the upgrading of life cycle within the scope of the input and output data, and emissions at the same quality standards are compared and analyzed. According to the practical situation of Chongqing city and the influence factors of different environment, we classify the Chongqing sewage treatment plant in 10 factors including , greenhouse gas effect, fossil fuel consumption, non fossil fuel consumption, solid waste space, water, fog effect of aggregation, eutrophication, acidification, atmospheric photochemical smog, carcinogenic and non carcinogenic substances. According to the feature model of EPA published in different environment, using AHP to determine weights of different environmental impact categories, all kinds of environmental impact of sewage treatment plant is quantized. Li Jia Tuo sewage treatment plant upgrade to cycle environmental impact than the sewage plant renovation

before improves as a whole life, eutrophication potential decreased with the treatment levels increase, from a level B emission standard to the level A emission standard, a decrease of 21.50%; however, atmospheric acidification, greenhouse gas, fossil fuel consumption, solid waste space, haze aggregation, photochemical smog with the processing level increasing, carcinogenic and non carcinogenic effects with the use of high energy consuming processing technology is on the increase. Effect of greenhouse gas emissions from a B to a level A emission standard, an increase of 6.97%, mainly due to the consumption of fossil fuel consumption; from a level B emission standard to the level A emission standard, an increase of 10.82%; solid waste space from a level B emission standard to the level A emission standard, an increase of 1.69% haze; gathered from a level B emission standard to the level A emission standard, an increase of 2.79%; atmospheric acidification from level B emission standard to the level A emission standard, an increase of 7.32%; photochemical smog from a level B emission standard to the level A emission standard, an increase of 5.71%; carcinogenic and non carcinogenic substances from first level discharge standard to B level A emission standard, an increase of 4.17%. According to the results of analysis calculation, puts forward some methods and suggestions to control. The paper gives an interpretation about Li Jia Tuo sewage treatment plant of upgraded and upgrading process and several other sewage treatment process based on life cycle assessment, and according to the characteristics of environmental life cycle stage, we put forward the corresponding control measures and reduce the impact on factor.

Keywords: Wastewater treatment plant, Emission standard upgrading,
Life cycle assessment, Environmental impact analysis

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
1 绪 论.....	1
1.1 问题的提出及研究意义.....	1
1.1.1 问题的提出.....	1
1.1.2 问题的研究意义.....	4
1.2 研究背景.....	5
1.3 国内外研究现状综述.....	7
1.3.1 基于生命周期评价城市污水厂环境影响的国内研究现状.....	7
1.3.2 基于生命周期评价城市污水厂环境影响的国外研究现状.....	7
1.4 研究内容和技术路线.....	9
1.4.1 研究内容.....	9
1.4.2 技术路线.....	9
2 生命周期评价综述.....	11
2.1 生命周期评价的概念.....	11
2.2 时间横轴——生命周期评价.....	12
2.2.1 生命周期历史.....	12
2.2.2 小结.....	12
2.3 发展纵轴——生命周期评价.....	12
2.3.1 生命周期发展.....	12
2.3.2 小结.....	14
2.4 生命周期评价的技术框架.....	14
2.4.1 目标定义和范围界定.....	15
2.4.2 清单分析.....	15
2.4.3 生命周期影响评价.....	17
2.4.4 生命周期解释.....	18
2.5 生命周期评价的特征.....	18
2.6 生命周期评价局限性.....	19
2.7 生命周期评价的应用.....	19
2.7.1 工业企业部门.....	19
2.7.2 政府环境管理部门和国际组织.....	19

2.7.3 消费者或消费者组织.....	20
3 城市污水处理厂升级改造生命周期评价.....	21
3.1 前言.....	21
3.2 城市污水处理厂升级改造工艺分类.....	23
3.3 目的和范围的确定.....	25
3.3.1 研究目的.....	25
3.3.2 研究范围.....	26
3.4 清单分析.....	28
3.4.1 清单的内容.....	28
3.4.2 城市污水厂升级改造前的清单分析.....	28
3.4.3 城市污水厂升级改造后的清单分析.....	33
3.5 环境影响评价.....	33
3.5.1 分类.....	33
3.5.2 特征化.....	34
3.5.3 量化.....	34
3.6 结果解释.....	37
4 重庆市城市污水厂升级改造环境影响的生命周期分析——以李家沱污水厂为例.....	39
4.1 研究范围.....	39
4.1.1 产品系统.....	39
4.1.2 功能单元.....	43
4.1.3 范围界定.....	43
4.2 清单分析.....	44
4.2.1 每个工艺的介绍.....	44
4.2.2 李家沱污水处理厂建设阶段.....	51
4.2.3 李家沱污水处理厂运行阶段.....	56
4.2.4 总结.....	74
4.3 环境影响分类.....	75
4.4 环境影响特征化.....	76
4.4.1 非化石燃料消耗.....	77
4.4.2 化石燃料消耗.....	77
4.4.3 温室气体效应.....	79
4.4.4 光化学烟雾.....	80
4.4.5 大气酸化.....	82

4.4.6 水体富营养化	83
4.4.7 水质影响	84
4.4.8 雾霾聚集影响	86
4.4.9 固体废弃物的占用空间	87
4.4.10 致癌和非致癌物质影响	88
4.4.11 总结	90
4.5 AHP 法清单分析	94
4.5.1 权重向量的计算	94
4.5.2 加权评估	98
4.6 结果解释	101
4.6.1 问题识别	101
4.6.2 评估	102
4.6.3 生命周期结果及改善分析	103
5 结论及建议	105
5.1 结论	105
5.2 存在的问题及建议	105
致 谢	107
参考文献	109
附 录	115

1 绪 论

1.1 问题的提出及研究意义

1.1.1 问题的提出

随着全球经济的不断发展，环境污染也随之加剧，聚焦环境问题已成为各国的共识。进入 21 世纪，饮用水和淡水资源持续地消耗，势必会造成严重的全球水危机(Shiklomanov, 1997)，而且再过几十年，十几亿的世界人口将会面临缺水的困境(World Water Assessment Programme, 2003)，因此，在相关决策制定过程中引进环境标准来提高工业等各个行业的可持续性是很重要的。

水是生命之源、工业血液，但是现在制约我国社会、经济发展的重要因素为水资源性短缺和水环境污染，主要表现在全国 600 多个城市大约有 2 / 3 的城市缺水，而且水环境问题呈现地域性，北方地区为水资源匮乏、不合理利用、水污染控制和污水回用等；南方地区为水污染控制和水体富营养化。水质型的缺水威胁城市水安全，根据 2012 年环保部发布的《中国环境状况公报》显示：我国 7 大水系水质分布不均衡，有些水系流域污染较严重、有些水系污染较轻，总体呈现恶化趋势 (见图 1.1)；我国河湖水系中，近年来 I -III类水体比例在增加，劣 V 类水体比例在减少(见图 1.2)，但实际上水生态恶化的趋势尚未得到扭转。据住房和城乡建设部连续 8 年对 35 个大中城市的自来水厂约 12000 个取水口水源水样检测结果表明，达到 II 类水体标准的水样数量比例由 2002 年的 24.8% 下降到 2009 年的 8.6%(见图 1.3)。

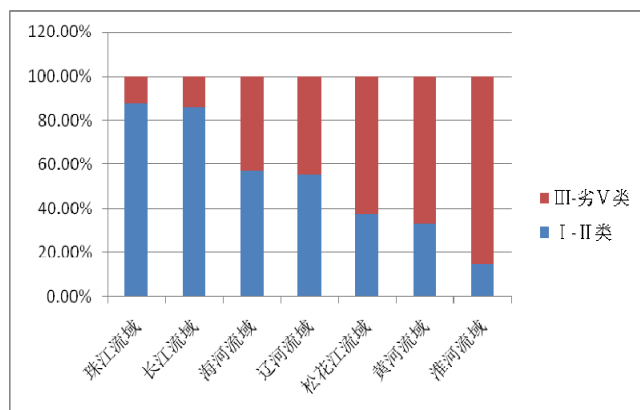


图 1.1 2012 年我国七大水系水质分布情况

Fig.1.1 Water quality of our seven water distribution in 2012

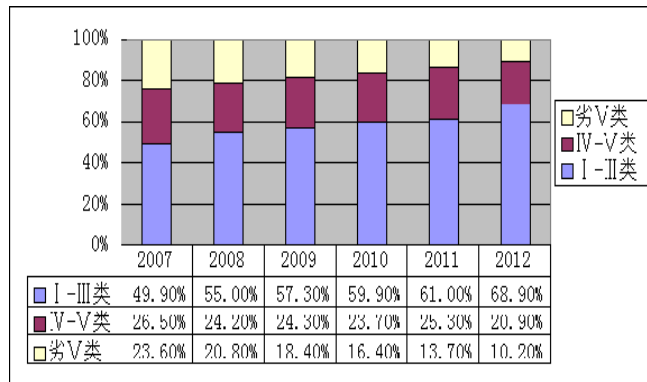


图 1.2 我国河流断面水环境质量达标比例

Fig.1.2 The standard ratio of cross section of river water environmental quality

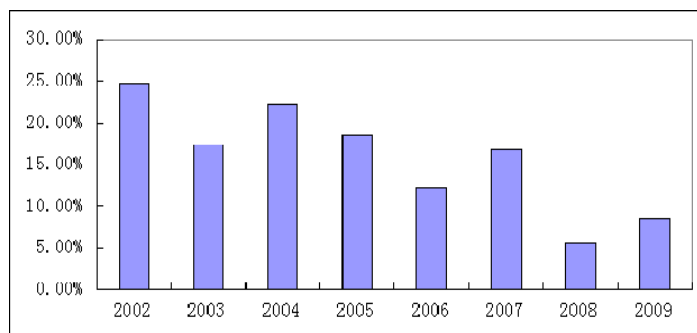


图 1.3 达到Ⅱ类水体标准的水源地比例

Fig.1.3 The standard of water achieving the water quality of II

面对这种日益严重的水体污染问题，污水处理厂作为一种控制污染物排放的手段得到了广泛的应用，其主要作用是对污水进行物理化学和生物化学处理，从而使污水中的污染物质得到分离和净化，减少污染物的排放，使其对受纳水体环境污染的影响减小。

我国 2010 年的污水排放量为 1000 亿 m^3 / d ，随着中小城镇的快速发展和人们生活水平的提高，污水产生量逐年增长，预计到 2020 年城市污水排放总量达到 1800 亿 m^3 / d 。为满足未来污水排放量和质的要求，需建设和提标改造一定规模的城市污水处理厂。

现行我国的城市污水厂执行着《GB18918-2002》一级排放 B 标准。在 2007 年无锡供水危机的出现一时轰动全国，后来查明原因是由于太湖蓝藻爆发而引起的，所以为了杜绝此类事件的再次出现，还人民一个安全和可靠的饮用水环境，排入太湖流域的污染负荷必须大幅度的降低。通过相关部门对太湖流域进行水污

染防治和控制工作的总体部署和指导意见，太湖流域城镇污水厂要提高处理标准，排放水质要达到一级 A 标^[44]。该事件给我国的污水处理事业给予了清醒和反思，相关责任保护部门意识到现有的城市污水厂排放标准不能达到对所在流域进行预防、保护和控制。2010 年江苏省住房和城乡建设厅编制了《江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则》，该导则规定太湖流域城镇污水处理厂改造、扩建、新建工程项目排放水质达到一级标准 A 标；重庆市提出 2010 年以前的污水厂采用一级标准 B 标，2010 年以后新建的污水厂采用一级排放标准 A 标。伴随着国家“城镇化的战略”、各个地区经济的快速发展、城镇人口的日益增加，城市污水厂现在或者将来已经不能满足现行的排放标准，所以，城市污水厂的升级改造是个必经阶段。

我国城市污水处理厂的建设投产后，其能耗不断增加，通过专家提供的数据，我国城镇污水处理年电耗已突破 100 亿 kwh，其能耗约占到社会总能耗的 2%。污水处理作为能耗密集型行业，消耗的能源主要包括电、燃料及药剂等，其总成本的 50% 以上来自能耗成本^[70]，而能源的生产过程中会产生污染物，随着污水厂题标改造的进行，可能会增加能耗，导致相应污染物的增加。因此，我们不禁要反思，污水处理厂的升级改造是否会对现有的周边环境造成影响，毕竟一个成熟的污水厂运行了多年，它与周边的生态环境形成了一种适应与被适应的系统，相互作用和影响，达到生态平衡，而我们现在人为的改造污水厂，就有可能打破这种平衡，例如：施工建设而造成的环境影响，例如：空气影响、噪声影响、水环境影响、固体废物影响，升级改造后投入运行阶段所造成的环境影响比升级改造前是减少、一致还是增加。

城市污水处理厂题标改造作为一项环保工程，其建设、运行和拆除过程又不可避免的产生了资源能源消耗和环境释放等一系列问题，但现行的环境影响评价方法(EIA)焦点放在污水厂运行阶段“末端排放”所产生的某些环境影响，如处理过程的大气污染物和噪声污染，处理后排放的水体污染物和污泥排放等。因此，EIA 对污水厂升级改造过程所产生的环境影响问题的评价是不全面的，基本上是一种与传统上偏重“末端”治理观念相应的“末端”环境影响评价技术。生命周期评价(LCA)可以对产品从“摇篮”到“坟墓”进行全过程的环境影响分析和判断，可以克服现行 EIA 评价制度的缺陷。

生命周期评价的研究始于 20 世纪 60 年代，随着环境和能源问题的持续地出现，该思想日益得到人们的关注。在 1990 年，LCA 的定义由 SETAC(美国环境毒理学和化学学会)正式提出。1997 年 ISO14040 标准由 ISO 公布，该标准使得 LCA 从理论转变为实际应用奠定了基础。随着城市污水处理厂雨后春笋般地出现，相关专业人士意识到城市污水处理厂作为城市水安全的屏障也伴随着许多环境问

题,许多学者开始将生命周期评价的思想应用到污水处理厂的建设和管理中。

1.1.2 问题的研究意义

污水处理厂的功能是把通过污水管网收集的污水经过相关处理措施使污染物分离、转化为无害、少害和易于处理的物质,实现废水的净化排放。然而,作为城市环保屏障的污水处理厂,在其建设和运行过程中必然会消耗资源能源,产生废水、废气、噪声和固体废弃物等环境污染物质,对周围环境产生一系列影响。随着城镇化发展战略的实施,人们对环境质量的要求越来越高,城市污水处理厂在升级改造过程中对环境的影响问题也日益成为人们关心的一个问题。应用生命周期的方法对城市污水处理厂升级改造过程进行环境影响评价,目前未有报道。城市污水厂的提标建设,仅从受纳水体水质改善的角度入手,考虑的是污染负荷的去除和尾水的提标,但并未考虑实际升级改造过程中所增加、排放的物质以及生产这些物质上下游工业链对环境所造成的影响。如果只从满足水质提标方面来进行评价的话,处理效率高的改造方案可能会对环境造成较大的影响。因此,针对一个具体的实体工程项目来说,应该全面考虑各方面因素。

生命周期评价是一种对产品、生产工艺以及活动对环境的压力进行量化和识别的客观过程,LCA有能力对产品从“出生到死亡”的这个过程进行环境影响分析。基于此,考虑将污水处理厂看成一个产品,生命过程包括获取原材料过程、运输原材料到建设地点的过程、污水处理厂的建设和运行和拆除过程;同样地,考虑将污水处理厂视作一种生产工艺:输入部分为原材料,输出部分为产品,生命过程包括废水的聚集过程、处理废水过程、污泥处理、达标水的排放过程。

针对上述情况,本文立足于一个对污水处理厂升级改造过程进行环境影响分析评价,评价方法采用生命周期评价法(LCA),力求具体,更切合实际和实际意义。

首先,为污水厂升级改造项目的规划和决策提供环境影响的支撑依据。现在的立项都是聚焦在近期污水水质改善上,而忽视了中远期由于升级改造后可能引发的环境问题。原因在于由于某些突发事件,亟待快速地解决,将我们所保护对象与周边环境相分离而单纯达到目标的出发点。通过本次研究,将两者统筹兼顾、综合考虑得出更客观、具体的结论。

其次,为污水厂升级改造项目提供影响环境较小的可行方案。随着未来城镇化战略的实施,人们对居住环境的要求越来越高,城市污水处理厂升级改造后是否增加了升级改造前环境影响负荷的问题正在成为人们所关心的一个问题。应用生命周期的方法对城市污水处理厂进行评价已有一些报道。基于生命周期评价污水厂升级改造后对环境的影响未曾考虑过。

最后,生命周期评价(LCA)的运用给予决策者一个全新的视角。生命周期评价(LCA)方法评价污水处理厂的升级改造过程可以克服传统环境影响评价片面性、局

部化的弊端，并且可以识别和判断环境影响在不同生命周期阶段和不同污染介质之间的转移，用于找出生命周期各阶段中改善环境影响的可能性。

1.2 研究背景

城市污水厂作为污水的收集、处理和排放的终端，经历了巨大的发展。我国第一座污水处理厂建成于 1921 年的上海，主要处理生活污水。受人们环保意识不高及国情的限制，污水处理行业长期停滞不前，1980 年之后才逐渐发展起来，处理率长期在 5% 左右徘徊，此后发展迅速，到 2012 年全国投运的城镇污水处理设施共 3836 座，总设计处理能力 1.49 亿立方米/日，平均日处理水量 1.16 亿立方米。

城市污水厂这几十年的发展中，也暴露出了一些问题，具体如下：

① 污水处理厂利用率偏低，设备闲置率高

根据《2012 年全国投运城镇污水处理设施清单》，全国目前在线污水厂的平均利用率只有 77.73%。各投运时段中，污水厂的平均利用率均在 90% 以下，且“八五”至“十二五”的五个投运时段中的平均利用率呈下降趋势，主要由于污水厂配套管网的建设具有延迟性的特点，此外运行管理水平不高、部分污水厂设计规模偏大、地区发展与规划产生偏差也会导致利用率下降。

《建设部关于加强城镇污水处理厂运行监管的意见》(建城[2004]153 号)规定：“城镇污水处理厂投入运行后的实际处理负荷，在一年内不低于设计能力的 60%，三年内不低于设计能力的 75%”。由此可知，20 世纪 80 年代至 21 世纪初期，运行的污水处理厂基本满足上述要求，“十一五”期间 73.45%、“十二五”期间 62.94%，均未达到上述要求。

② 处理工艺落后，不适应新的排放标准

首先，污水处理行业的发展离不开排放标准的制约，为了控制和监测污水处理厂处理效果的优劣，保护国家水环境体系的安全及健康发展，国家在不同时期制定了适时的水环境标准体系；其次，新排放标准重点强调脱氮除磷；最后，国内大部分污水处理工艺脱氮效果不佳，因此需要开发新的处理工艺使之与新排放标准相适应。

③ 投资成本和能耗水平较高，日常运行成本大

根据褚俊英^[45]的观点，可选用单位污水处理能力的投资（简称单方投资）来衡量污水厂的造价成本。据其统计的我国 89 个污水处理厂的设计、运行数据值，我国污水处理厂的 2002 单方投资平均价为 1350.75 元/（m³·d），1990 年可比价为 1042.32 元/（m³·d），规模占地为 1.669hm²/（10⁴m³·d）。污水处理厂的规模对单方投资与规模占地有很大影响，大型污水处理厂[（20~40）×10⁴m³/d]的单方投资和规模占地远远优于中、小型污水处理厂（20×10⁴m³/d 以下），且其规模占地指

标仅为小型污水处理厂的 1/3，因此中、小型污水处理厂的投资效率不及大型污水处理厂。

根据张辰^[46]等人的说法，我国污水处理厂处理单位污水耗电量约 $0.262\text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 与日本全国平均 $0.26\text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 相近，比美国 $0.2\text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 消耗量稍高。由于日本沉砂池普遍有洗砂、通风、脱臭等工艺环节约耗电 $0.01\text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，而且美、日两国对污泥大多进行消化、脱水、焚烧处理，约耗电 $0.05\sim 0.1\text{kw}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，且未计算回收的能源。根据秦怀东^[47]的说法，美、日两国自控设备、照明、空调等耗电量也比我国高。我国污水处理行业节能空间巨大，若每立方米污水节约能耗 $0.01\text{kw}\cdot\text{h}$ ，全国每年可节省 1 亿多元的运行费用。

④进水水质、水量与设计值偏差过大，对污水厂冲击负荷大

该问题包括两个方面：一方面为水质问题，包括进水中碳源含量过低、氮磷指标远高于设计值、进水中含有某些对微生物影响很大的重金属离子等。水质的改变将导致原有工艺不能正常达标；另一方面为水量问题，污水厂进水量与设计处理量一致才能保证污水厂保持较好工况运行，若偏差过大将使污水厂利用率过低或超负荷运行，影响污水厂的处理效果。

⑤处理效果不理想，运行管理较差

污水处理厂处理效果的好坏对于水环境的影响极大。我国虽然加快了污水厂建设的步伐，但是却未能较好的控制、维护其运行。根据石丹丹^[48]的说法，我国有将近 1/3 的污水处理厂未能正常运行。根据统计：昆山市 23 家污水处理厂 2011 年出水的实际达标率为 70.2%，2012 年则为 91.5%；大连市 16 家重点污水处理厂 2012 年第一季度排水水质达标率为 75%；浙江省嘉兴市 14 家重点污水处理厂 2011 年 5~10 月的达标率为 86.72%，较 2010 年同期上升了 8.9 个百分点；山西省环境监测中心实际监测的集中式污水处理厂 114 家 2012 年第二季度达标率为 86.8%。污水厂未能达标排放加剧了我国环境问题的恶化，不利于污染现状的改善。

针对我国污水厂上述运行问题，各地环保部门相继研究制定了一些方法，其中行之有效、较常用的方法为对原有污水厂进行升级改造。国内首先进行污水处理厂集中改造的区域在太湖流域，根据《江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则》所述，太湖流域目前有 169 座，对已建及在建污水处理厂提升至一级 A 标准，积极采取科学的技术方法确保改造工作顺利进行。

现有的城市污水厂要达到一级 A 标，不可避免地要对现有的处理工艺进行升级、优化和改善，其对环境保护和社会的可持续发展意义重大。排入水体的污染量降低，提升了水体的自净能力；一旦发生突发事件，水体受到污染和破坏的免疫力增强了。

1.3 国内外研究现状综述

1.3.1 基于生命周期评价城市污水厂环境影响的国内研究现状

国内研究人员在 LCA 评价城市污水厂环境影响的方面开展了大量的研究，主要包括三方面：研究单独的污水厂分析其全生命周期，得出造成环境影响的主要因素；研究不同的污水厂分析其全生命周期，得出那个污水厂对环境的影响小；研究污水厂不仅从其环境影响入手，而且还从其他方面考虑，例如：技术因素、经济因素等，综合判断污水厂全生命周期的过程，为以后污水厂的新建提供依据。

王晓昌、吉倩倩^[1]等提出了城市污水系统对环境影响的 LCA 模型，在界定的范围内，通过清单分析，运用生命周期评价将污水处理工程的环境影响转化为单位能耗来判断的单一指标；郑泽根、余建朋^[4]通过生命周期评价，进行了污水厂从摇篮到坟墓各个阶段的能耗分析，并从环境、经济和技术因素分别进行考察，全面揭示一种工艺方案的优劣，从而科学合理地确定最佳工艺路线；王晓昌、曹冰^[5]以西安市第三水厂为案例，进行了建设阶段、运行阶段和报废阶段材料、能源、污染物排放的清单分析，得到运行阶段的能耗值占整个生命周期能耗的 90%，西安市第三水厂整个生命周期内的环境影响主要为能耗所造成的全球变暖和大气酸化；王涛、熊艾玲^[6]运用生命周期评价对污水厂从其原材料开采和加工到污水厂施工建设、运行阶段、报废阶段的能耗分析，得到城市污水处理厂能耗绝大部分集中于二级生物处理工序的曝气系统，占总能量的 80%，节能的主要环节是曝气系统；曹文志、林璐^[9]采用生命周期评价方法评价城镇污水处理厂污水处理工艺，从经济效益、技术效能和环境影响三个方面出发，筛选出十四个影响因子，并且分别确定了污水处理生命周期各个影响因子的权重；樊庆铎、梁松^[8]采用生命周期评价(LCA)的方法，对污水处理厂在其生命周期范围内的环境影响负荷进行了分析，并以黑龙江省哈尔滨市的呼兰污水处理厂作为案例，对其生命周期内的环境影响负荷进行了分析。郑泽根、周凌^[7]从原材料的获取到污水厂的建造、运行及报废拆除的全生命周期比较了两种不同工艺的污水处理厂的总体环境效益，并提出了改进评价。徐得潜、孟祥宇^[10]采用物料平衡的手段对污水处理厂进行分析，得到了进行 LCA 所需的清单数据，通过 LCA 的研究，对各个环境影响因素进行了量化，得到环境影响因素对污水处理厂的作用。结果是影响污水处理厂 LCA 的主要因素是温度和运行工况。

1.3.2 基于生命周期评价城市污水厂环境影响的国外研究现状

Sheikh M.Rahman, Annalisa Onnis-Hayden^[49]等人运用生命周期评价方法，使用不同的技术去除污染物质，观察其去除率与周围环境影响的关系，发现随着去除污染物质技术水平的提升(即去除率升高)，能耗、化学物质的使用、发电对环境影响的因素会提高，可能对环境 and 人类造成显著的影响。Anne-Marie Tillman 和

Michael Singly^[50]等人将生命周期评价的思想应用于瑞士西海岸的两个城市污水处理厂，对污水处理厂建设阶段和运行阶段的能源消耗与环境影响做了初步分析。该分析认为污水处理厂运行阶段的环境影响远大于建设阶段。Doka^[52]已经总结了瑞士的污水厂的清单分析，该研究中，967 个污水厂已经编制清单，污水厂基于每天 BOD 的负荷被分为 5 个小组。Lassaus、Renzoni 和 Germain^[53]评估了比利时整个市政污水系统的环境影响，使用 1m³水作为基本单元。一个案例的研究分析了化学物质和能耗造成的环境影响在奥斯陆。Bravo 和 Ferrer^[54]运用 LCA 评价了巴塞罗那的一个污水厂。他们的焦点主要放在能量和资源利用化的使用上。污水处理厂在西班牙分成了 6 类，基于污水水质目标和使用污水来分析水厂的可持续性。功能单元的选择对于环境影响的结果由 Rodriguez-Garcia^[55]来估计。各种各样的影响分类分析在这个研究中，包括致癌影响、大气酸化、生物毒性、非生物消耗、全球变暖潜能、臭氧层破坏、光化学烟雾影响和水体富营养化。Falk^[56]已准备了一个报告焦点集中在有关提升水质指标而引起的持续性的环境影响。为满足这些标准，先进的处理技术需要采用，从而导致消耗大量的能源、化学药剂和原材料。因此，新的处理框架可能的造成环境影响要大于提升水质带来的效益。分析了在营养物质的去除和持续性环境影响的平衡，水体富营养化降低的风险伴随着温室气体排放的增加，其它的环境影响，例如：生物毒性、人体健康、非生物消耗仍然未知。因此，需要合并其它因素来进行更进一步的研究，仅考虑单一的污水工艺在每一个水平中。采用不同的工艺选择能够改变结果。在另一个研究中，在密歇根的污水处理厂证实了能源的使用和 CO₂ 的排放。更深入地分析污水处理厂各种各样的工艺(能够满足水质标准的提高)对环境的影响任然缺乏。最近的研究针对这些问题，提供了广泛的对污水厂(能够满足水质标准的提高)环境影响进行评价。Almudena、M Teresa Moreira 和 Maria Martin^[57]等采用 LCA 的方法对城市污水处理厂固体废弃物进行了厌氧消化处理和高温燃烧处理进行了对比实验。Tangsubkul^[58]等应用 LCA 对环境影响和能源消耗为指标进行了分析，对污水回用技术进行了对比实验。Stephane Lassaux 和 Robert Renzoni^[59]等人把污水处理厂的生命周期过程分为排水过程、污水处理和排放过程对某城市污水处理工程进行了试验。Mohamed^[60]等将 LCA 应用于污水处理厂的决策管理系统中。研究发现 LCA 的思想能够提升污水处理厂的管理，降低污水处理厂向环境排放污染物质。Ortiz M^[61]等采用 LCA 比较了两种污水处理技术对环境的排放负荷。Almudena Hospido^[62]等采用 LCA 对污水处理厂运行过程的污染物的排放进行了分析，并采用 Simapro 评价软件对污水处理厂运行过程的污染物排放进行了定量化。Adriana 和 Michela^[63]

等以意大利某污水处理厂作为案例，应用 LCA 对该污水处理厂的建设和运营过程中所产生的排放物进行了比较，获得了不同生命周期过程中污水处理厂污染物排放的大小。

1.4 研究内容和技术路线

在本研究中，笔者将城市污水厂升级改造前和升级改造后看成两个成品，即将污水处理厂升级改造前后过程作为研究对象，其生命周期阶段为污水厂的建设与运行过程。LCA 思想应用于污水处理厂升级改造，提标改造前后工艺的差异是其特点，聚焦在输出物和能耗的不同。因此，LCA 在对比污水厂升级改造前后所产生的环境污染和生态影响的同时，还对比升级改造前后设施的资源和能源消耗水平，将能源问题与环境问题结合起来，可以为一个污水处理厂未来题标改造选择较优的绿色工艺。

1.4.1 研究内容

目前，国内外用 LCA 方法分析评价污水处理厂升级改造后所造成的环境影响研究甚少，鉴于此，本论文的研究内容主要包括以下几点：

- ①建立污水处理厂升级改造前和升级改造后生命周期评价基本框架，确定各阶段能量消耗的衡量指标，并对生命周期清单进行分析和评价。
- ②案例研究—针对重庆市巴南区李家沱污水厂进行的升级改造，采用生命周期评价方法，分析其对环境的影响。
- ③通过案例分析，可以识别和判断各个阶段的能耗和污染排放量，为后续的节能减排提供实施依据。
- ④利用李家沱污水厂的资料，设计几个污水处理工艺，运用生命周期评价方法与现有工艺进行环境影响对比分析。
- ⑤为国家未来进行污水厂升级改造项目进行评价时，提供环境评价分析的建议。

1.4.2 技术路线

根据图 1.4，首先对现有文献进行总结和评论，查阅相关城市污水厂升级改造的资料，同时去重庆市周边地区的污水厂进行调研，确定主要研究内容，然后通过生命周期评价方法确定研究对象的边界范围，并确定评价阶段，接着将各个阶段的输入和输出清单列出和分析，采用层次分析法对不同的环境影响类别进行权重计算。将调研所得的李家沱污水厂的数据作为案例分析，得出最终的环境影响分析和结论。

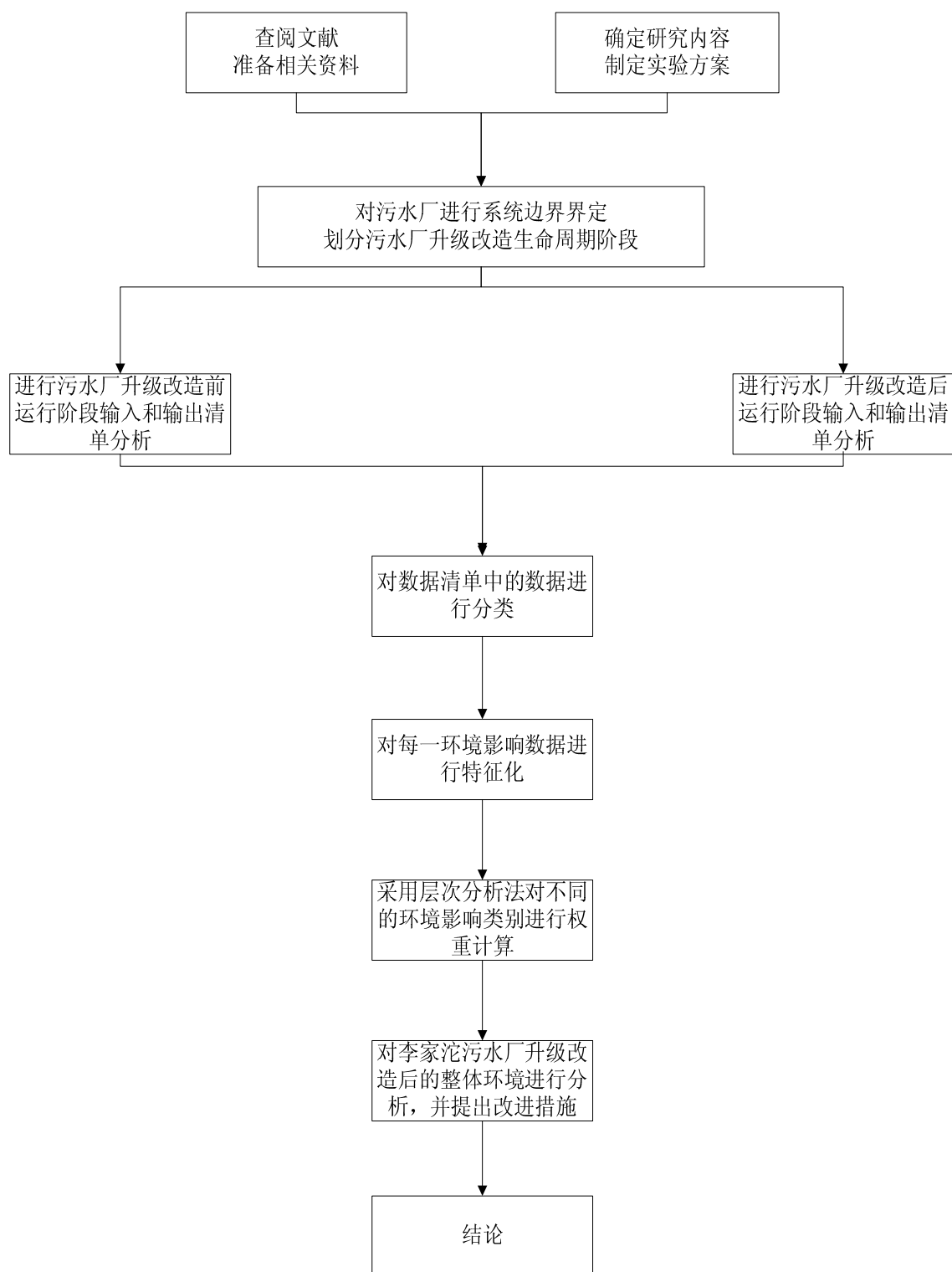


图 1.4 本研究技术路线

Fig.1.4 Framework of Methodology

2 生命周期评价综述

本次研究生命周期评价的综述，笔者首先通过时间横轴采用横向扩展，叙述其历史的过程；其次，在每个时间横轴的节点上竖向延伸，阐述其经历的事件；最后，将时间横轴与发展竖轴结合起来，得到生命周期评价从无到有、从理论到实践、从不成熟到日趋完善的演变和发展。

2.1 生命周期评价的概念

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)，又被称为“从摇篮到坟墓”分析(Cradle to Grave Analysis)，“资源和环境的状况分析(Resource and Environment Profile Analysis, REPA)”等，其主要内容在于是将关注点放在预防源头污染和控制各个阶段所排放的污染物质，而不是当相应的问题出现后再考虑解决措施，与末端治理(end-of-the-pipe treatment)的出发点是不一致的。它是对产品从设计到原料开采，再经过原材料的加工过程、生产产品过程、装饰产品过程、对产品进行运输、销售产品过程，然后产品进入到消费者手中，该过程包括消费者使用产品过程、维修产品过程、回收产品过程，最后产品再循环或作为废弃物处理和处置的整个生命过程，对其过程进行全面综合分析，目的在于寻求一种平衡在产品的功能、能耗和污染排放之间，因为资源能源消耗和污染物的排放存在于各个过程，所以预防污染和控制资源能源消耗存在于各个过程中。

目前，LCA 的定义有多种提法，政府、企业和一些机构站在各自的立场对其有不同的表述。国际环境毒理学与化学学会(SETAC)的定义为：“生命周期评价是一种对所有活动可能会对环境造成压力而进行评价的客观过程，它是通过对资源能源的利用并且由于其使用而造成的环境废物排放进行识别和判断，其目的在于对资源能源利用，以及废物排放对环境的影响，并且在这个过程中寻找改善环境影响的可能性以及如何改善环境影响。”国际标准化组织(ISO)的定义为：“对一个产品系统，从“摇篮到坟墓”的输入部分、输出部分的编制和该过程潜在环境影响的评价。”不同的概念表述都有一些共同点，因此，将这些概念归结起来，LCA 可以表述为：“对一种产品及其包装物、生产工艺、原材料、能源或其他某种人类活动行为的全过程，包括原材料的采集、加工、生产、包装、运输、消费和回收以及最终处理等，进行资源和环境影响的分析与评价”。

2.2 时间横轴——生命周期评价

2.2.1 生命周期历史

生命周期评价(LCA),有时被称为“生命周期分析”、“生命周期方法”、“摇篮到坟墓”。它最早的雏形起源于 20 世纪六七十年代的美国,在当时被称为资源与环境状况分析(Resource and Enviromental Profile Analysis),直到 1969 年,美国中西部研究所受可口可乐公司委托对饮料容器从原材料采掘到废弃物最终处理的全过程进行跟踪与定量分析,这是该方法的思想首次运用于实际中,标志着生命周期评价法正是登上历史的舞台。

1970 年到 1980 年这一时期,美国、西欧和日本的一些研究机构根据企业发展战略的要求,运用 LCA 法来为企业判断和识别性价比较高的产品。

20 世纪 80 年代中期和 90 年代初,LCA 聚焦于产品在生命周期中所引起的环境影响,并且对 LCA 的研究已开始从实验室阶段进入到实际中。

20 世纪 90 年代以后,通过国际环境毒理学、化学学会和欧洲生命周期评价开发促进会的宣传,LCA 方法在全世界得到较大规模的应用,同时 LCA 也应用在许多工业行业中,为决策者在管理企业中起着重要的作用。

21 世纪以来,LCA 关注的范围更广泛、更细化。可持续 LCA 研究较受瞩目,这和传统的 LCA 研究不同,评价内容包括环境、经济、社会 3 个方面。环境方面包括能源、地球变暖、人体毒性、光化学臭氧诱导、酸化、富营养化、非生物资源的枯竭、臭氧消耗、生态毒性;经济方面包括采掘费、制造费、废弃物处理费、电费、设备费、燃料费、原料费、收入;社会方面包括工人收入、女性就业率、非法用工比例、工人健康检查就诊比例、事故率、童工、工人社会福利、差距(行业、收入等)^[77]。

2.2.2 小结

综上所述,LCA 法经历了 40 多年的发展,其着眼点从最初的企业咨询评估到现在的各国发展战略所必需的利器、从一个行业扩散到各个行业、从局部问题到宏观问题,说明该法是与时俱进的,不断变化和发展的。

2.3 发展纵轴——生命周期评价

2.3.1 生命周期发展

1969 年,美国中西部研究所对可口可乐公司所销售的饮料容器,从原材料采掘到废弃物最终处理的全过程进行跟踪与定量分析。

最初的 LCA 研究集中于能源和资源消耗的关注,这是由于 1973 年中东战争的爆发,石油输出国组织提高油价,导致石油危机,各国为了提高能源的利用效率,用 LCA 法来分析产品在各个阶段的能耗,从而可以节约能源应对危机。与此

同时,“净能量分析”(Net Energy Analysis)成为舆论焦点,专业人士采用这一方法对在包装盒上的不同材料所需的能源进行了研究,而且将研究应用于酒精汽油和航天类等产品的分析上。很短的时间内,方法学增添了一个新成员即净能量分析。与此同时,一些来自于欧洲的科研人士提出了与清单分析相类似的“生态核算方法”,该方法对产品生命周期内环境的所有输入输出进行核算,目前已发展成为一种物料和产品的环境评价工具^{[4][73]}。

1975 年东京野村研究所为日本的利乐公司进行了所销售产品的包装生命周期评价,纸盒与玻璃瓶置于不同的销售方案中进行对比,随后利乐公司委托研究机构完成了研究报告《利乐砖纸盒及多次使用和非多次使用玻璃瓶对资源和环境的影响》。

20 世纪 70 年代初,美国国家科学基金的国家研究计划中针对玻璃、聚乙烯、聚氯乙烯瓶所产生的废物进行分析比较,采用了 LCA 法。

1990 年,国际环境毒理学与化学学会(SETAC)召开了首届有关生命周期评价的国家研讨会,在会议上提出了“生命周期评价”概念。

荷兰政府通过历时三年研究“荷兰废物再利用研究”,该研究的成果之一就是 1992 年出版的报告《产品生命周期环境评价》。

1993 年出版的《LCA 原始资料》,被国际上广泛认为是当时最全面的 LCA 活动综述报告。

1993 年,国际环境毒理学与化学学会(SETAC)依据在葡萄牙举行的一次学术会议的主要结论,出版了一本纲领性报告《生命周期评价纲要》。

1993 年,国际标准化组织(ISO)成立了“环境管理标准技术委员会”TC207,并且其中一个分委专门负责制定生命周期评价标准^{[78][79]}。

1993 年,美国国家环境保护局(EPA)颁布了《生命周期评价—清单分析的原则和框架》。

1995 年,美国国家环境保护局(EPA)颁布了《生命周期分析质量评价指南》、《生命周期影响评价:概念框架、关键问题和方法简介》。

1997 年,国际标准化组织(ISO)发布了第一个生命周期评价国际标准 ISO14040《生命周期评价—原则与框架》^{[80][81]}。

1999 年,国际标准化组织(ISO)发布了 ISO14041《生命周期评价—的与范围的确定,清单分析》^{[80][81]}。

2000 年以后,国际标准化组织(ISO)发布了 ISO14042《生命周期评价—生命周期影响评价》、ISO14043《生命周期评价—生命周期解释》、ISO / TR14047《生命周期评价 ISO14042 应用示例》、ISO14048《生命周期评价生命周期评价数据文件格式》和 ISO14049《生命周期评价 ISO14041 应用示例》^{[80][81]}。

2008 年,中国发布了 GB/T24044-2008/ISO14044: 2006《环境管理生命周期评价要求与指南》。

2.3.2 小结

综上，笔者通过相关资料将生命周期在 40 多年研究历史中，所发生的重大事件做了一个梳理，根据这些事件发现，生命周期评价伴随着当时社会、经济所遇到的困境和危机的困难程度而不断发展。

2.4 生命周期评价的技术框架

1993 年国际环境毒理学与化学学会(SETAC)将其描述成 4 个互相联系的三角形框架，它们分别是目的和范围界定、清单分析、影响评价和改进评价。如图 2.1 所示：

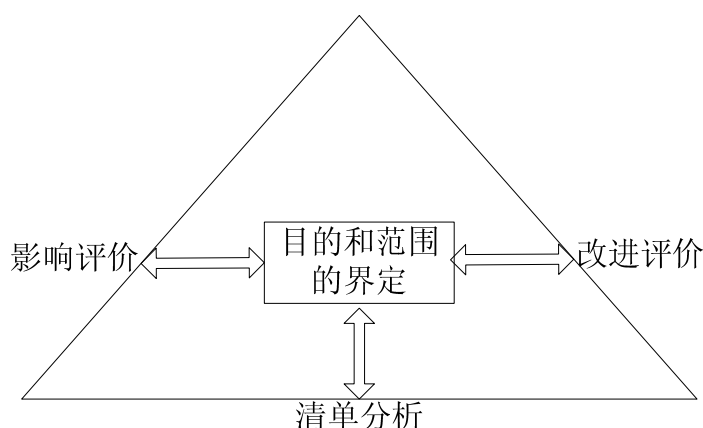


图 2.1 生命周期评价的技术框架

Fig.2.1 The technical framework of Life cycle assessment

在 1997 年 ISO 颁发的 ISO14040 标准中，对 LCA 进行了规范，将其实施步骤分为目标和范围的定义、清单分析、影响评价和结果解析 4 个部分。如图 2.2 所示：

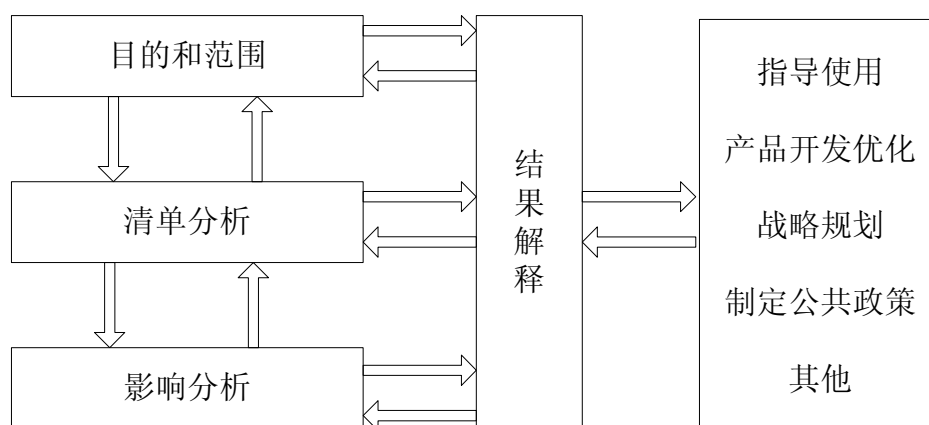


图 2.2 生命周期评价实施步骤

Fig.2.2 The implementation steps of Life cycle assessment

2.4.1 目标定义和范围界定

①目标定义

LCA 的目的应根据研究的由来,明确阐述其应用意图以及决策者所需的信息来确定。在不同条件下,LCA 研究的目的也不一样,大致可分为三类:概念的、初步的和全面的产品生命周期评价。概念产品生命周期评价用于解决产品-环境系统的基本问题,主要向消费者描述环境标志产品具有的品质;初步产品生命周期评价通过半定量或者定量的方法确定产品存在的环境问题,为产品设计、开发以及企业内部环境管理服务,也可为政府部门提供有关环境问题的决策研究;完全产品生命周期评价是通过收集大量数据来支持产品环境体系的全面评价,主要用于环境标志的认证、企业的外部宣传和政府的法规制定^[21]。

②范围界定

在针对 LCA 评价过程中,范围界定占主要地位。评价范围最好是通过一些问题来确定,例如:为什么要进行这项研究?结果有没有实用价值?结果用于谁?谁来进行分析?怎样控制这些选项实施?做这些研究,相关资料如何获得、有多少?需要怎样的细节水平?通过这些提问,能够迅速界定研究范围,使研究的思路条理清晰。

LCA 研究范围的确定是指对基本的产品系统的功能、功能单位、系统边界、分配方法、环境类别和评估手段,并且对其所进行的解释、收集数据、设定条件、局限性进行确定,目的旨在使研究的深度和广度与所进行的评估产品相符,符合研究目的。

LCA 研究是一个充满不断进行反复验证的过程,基于得到的结果是否满足前面所设定的条件,反复修改条件,以达到研究的范围。

2.4.2 清单分析

生命周期清单分析是量化和评价所研究的产品、工艺或活动在整个生命周期阶段的资源和能源使用以及环境释放的过程。它包括为实现特定的研究目的对所需数据的收集,基本上是一份关于所研究系统的输入和输出数据清单。

输入部分包括所有资源和能源,输出部分为产品在生命周期过程中释放到环境中的污染物质(包括气体、液体、固体),就是将产品系统内外物质流和能量流的输入和输出的清单列出。清单分析在整个生命周期中对能量和原材料以数据统计为基础而进行的客观量化分析过程。清单分析在整个生命周期都存在,即获得原材料、对原材料进行加工制造变成产品、产品流通到消费者手中进行使用或维持现状、废物利用和废弃物处理等四个阶段。

生命周期清单分析(LCI)通常涉及到相关数据资料的收集和设定相适应的计算流程,一般步骤如下:

①数据收集

②过程和产品预算

③分配。在分析中使用对比的方法，给每个物质流和能量分配相应价值

④功能单元的选取，用于两个相当不同的条目比较

当数据清单分析将目的和范围设定后，数据清单具有实用性，它呈现了完整的分析文件，包括数据的地理位置、数据的型号、数据收集手段，数据的阐释方法。当得到了一些数据，并对产品有了深层次认识后，对以后收集数据有了新条件，或发现原有收集程序存在局限性，则需对收集程序作出修订，以适应研究目的。清单分析的简化程序如图 2.3 所示。

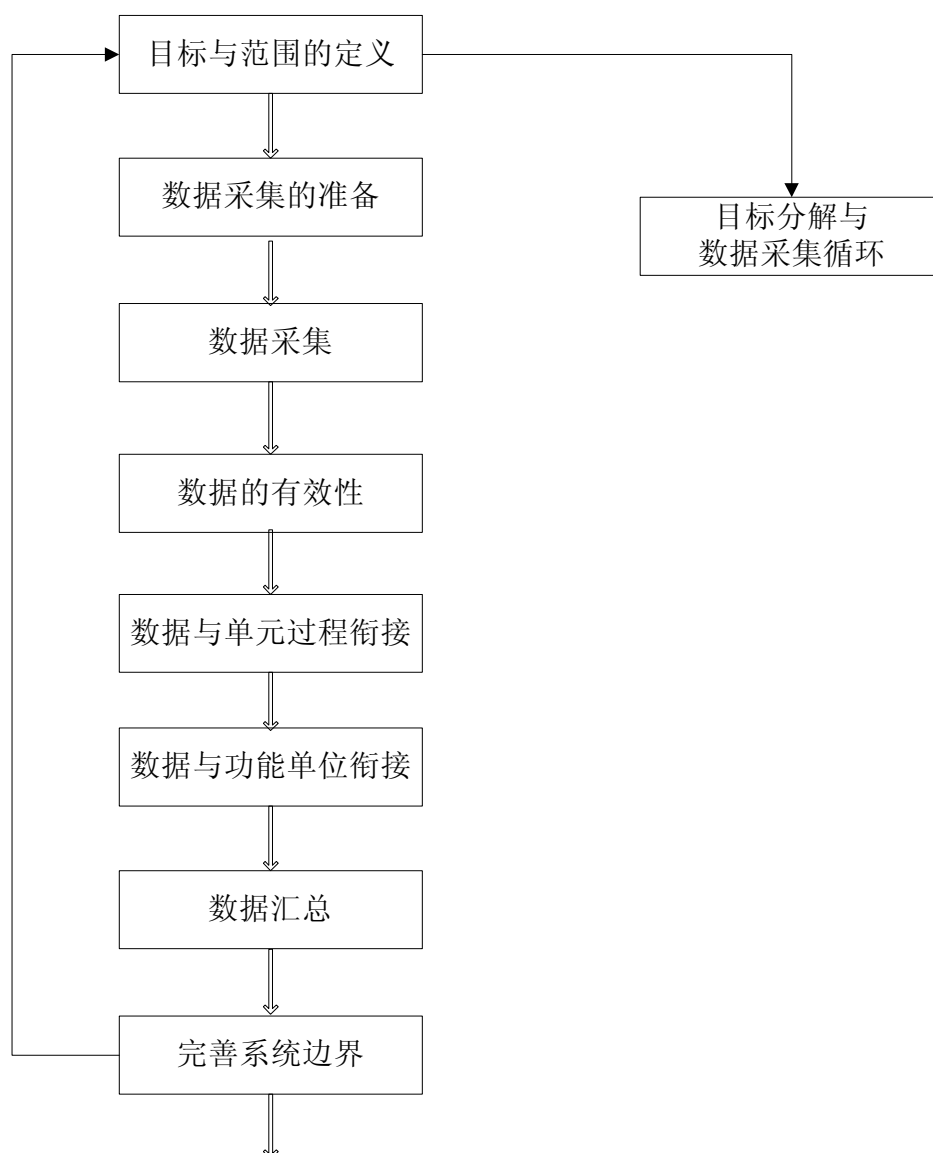


图 2.3 数据清单分析的简化程序

Fig.2.3 The simplified process of Life cycle inventory

2.4.3 生命周期影响评价

生命周期影响评价是根据清单分析所统计的数据，采用一些方法和手段对所获得的数据进行计算，得到相应的结论。生命周期影响评价是综合了前面三个步骤的工作，它是对所开展生命周期评价项目的一个提炼和深化，通过这个步骤，可以寻找到物质、过程和环境影响之间的关系，所以其是 LCA 最重要的阶段，也是最困难的环节。但是到目前为止，还缺乏统一的科学计量手段。

ISO 定义的生命周期影响评价框架如下：产品的评价框架及其数据收集流程在 LCA 中必须清楚，而且可以说明适用条件和可操作性；同时，LCA 对所有的能源资源来说是有效的。

生命周期评价的量化手段确定为一个“三步走”的步骤。这三步是：分类(Classification)、特征化(Characterization)和量化(Valuation)。

①分类(将清单数据纳入影响类型)

分类是一个将清单分析的结果划分到影响类型的过程^[76]。影响类型为某种过程中所产生的不同效应的分类。环境影响类型通常包括能源资源消耗、生态影响和人类健康三个大类。在每个大类下又有许多亚类，如在能源资源消耗这一大类下有可再生资源消耗、非可再生资源消耗等亚类；在生态影响这一大类下有温室气体效应、雾霾聚集、大气酸化、生物毒性等亚类；在人类健康这一大类下有致癌物质效应、非致癌物质效应等亚类。在每一亚类下，有许多影响因子，但是这些因子又是相互交叉影响的，如温室气体效应中的一氧化碳(CO)也是光化学烟雾的影响因子，所以，对生态系统和人体所造成的环境影响不能仅仅归咎于一个影响因子的单独作用。而且环境影响类型是随着经济、社会和政治的变化而发生着改变。当前科学将环境影响因子与环境影响类型之间存在着某种线性关系作为一个重要前提，大大简化了环境影响分类过程。

②数据特征化(按照影响类型建立清单数据模型)

特征化是对清单分析结果进行统一单位换算，并在相同的影响类型内对换算结果进行合并。这一转化采用特征化因子。特征化的结果是一个量化指标^[82]。但是，大部分影响因素其影响的效果随时间、地点和条件的变化而发生很大改变，不仅都是非线性的组合，而且几种因素共同作用造成的复合污染负荷，也是复杂的非线性组合，识别、判断和整理这些因素所造成的环境影响数据要耗费大量人力和时间，科学界目前无适用、统一的方法。特征化阶段将清单分析中所提供的的数据转化成描述影响的叙词(Descriptor)，如：气候变暖的因子有 CO₂、CO、CH₄ 等气体，通常采用 CO₂ 作为参照物对其他因子进行归类和比较，最终用 CO₂ 表征气候变暖大小。目前国际上使用的特征化模型主要有：负荷模型、当量模型、固有的化学特征模型、总体暴露(Exposure)-效应模型、点元(site-specific)暴露-效应模

型。归一化作为特征化的深化和提炼，其目的旨在使得可以比较不同影响因素对环境的作用压力。

③数据标准化及量化(加权)

量化是用数值表征不同环境影响类型对环境所造成的压力负荷。量化是生命周期评价(LCA)中具有争议的过程，这是因为量化因子(权重)涉及经济、社会、政治和道德取向，主观性较大。

数据标准化，以某个数据作为标准，各个数据转化为标准数据的过程。该过程可以表征不同环境因素对环境的压力。然而，不同的影响类型经该过程后有可能得到一样的数值，但是它们的潜在环境影响并不意味着是相同的，因此需要对不同影响类型进行重要性的排序，即确定权重，这样可将不一样的环境影响类型大小计算成单一数值，实现了对不同产品、不同系统或不同处理方案的环境影响进行对比判断。科学界和工业界对于产品的具体赋值尚无统一标准。

总而言之，生命周期影响评价(LCA)还处于发展阶段。虽然近些年涌现了一些进行 LCA 的方法，但普世方法还在进行中。环境与毒理学和化学协会(SETAC)、美国(EPA)和加拿大标准协会(CSA)已经公布、出版了许多关于生命周期影响评价的标准、手册、指导意见和理论指南。除了这些，还发展了许多建议性的方法。

2.4.4 生命周期解释

生命周期解释是根据生命周期评价前几个过程的研究成果或清单分析的数据，以透明的方式来对研究成果进行分析判断和对数据进行处理和分析，找到最终的结论和解释局限性，提出建议和完善后续工作，最后报告生命周期解释的结果，提供的研究结果的满足理解性、完善性和一致性的特点。

生命周期解释呈现出整体性、反复性的特点。它以清单分析和生命周期影响评价为基础，运用计算程序进行寻找、判断、验证、评估和找出结论，以满足研究目的和范围中所规定的应用要求；而整个解释阶段需要不断重复。

2.5 生命周期评价的特征

1) 它是一种全过程评价。LCA 涉及产品或活动从原材料采集、加工、产品制造、消费、回收利用到废物处理的全过程，是对产品或活动“从摇篮到坟墓”的评价。

2) 系统性强。LCA 是以系统的思维方式研究产品或行为在整个生命周期的环境影响，涉及范围内的各个方面，系统性强。

3) 涉及面广，工作量大。LCA 涉及产品或活动的整个生命周期，不仅涉及企业内部，还涉及社会其他部门，因此涉及面广，工作量大。

4) 偏重环境影响评价。LCA 强调分析产品在生命周期各个阶段对环境的影响。

响，包括能源、物质消耗、污染物排放等，而对产品的经济影响和社会影响涉及较少。

2.6 生命周期评价局限性

将生命周期评价应用于产品只是市场风险评价、技术风险评价、环境风险评价，但是它也有它的缺点。其缺点表现在有范围局限性、方法局限性、数据局限性三个方面。

2.7 生命周期评价的应用

生命周期评价标准作为一个实用的工具和方法，主要应用领域有工业企业部门、政府环境管理部门和政府环境管理部门和国际组织，应用概况如下：

2.7.1 工业企业部门

生命周期评价起源于企业内部，也最先在企业部门得到最广泛应用。在企业部门，以一些国际著名的跨国企业为龙头，一方面开展生命周期评价方法的研究，另一方面积极开展各种产品，尤其是新、高技术产品的生命周期评价工作。主要应用领域可归结为四个方面，如表 2.1 所示：

表 2.1 企业生命周期评价的应用

Table 2.1 The Application of Life cycle assessment in company

企业	国家	LCA 的应用
惠普	美国	有关打印机和微机的能源效率和废弃物研究
数字设备企业	美国	生命周期评价方法论研究，电子数字设备部件的生命周期评价
施乐	美国	产品部件报废研究
西门子	德国	各种产品生命周期结束后有关问题研究
奔驰汽车	德国	生命周期评价方法论研究，空气清洁剂生命周期评价示范研究
飞利浦	荷兰	广泛开展了各种产品的生命周期研究
菲亚特集团	意大利	汽车发动机生命周期评价示范研究
ABB 集团	瑞典	大规模的环境管理系统研究
爱立信	瑞典	无线电系统生命周期评价示范研究

①产品系统的生态辨识与诊断。

②产品环境影响评价与比较。以环境影响最小化为目标，

③涉及面广，工作量大。LCA 涉及产品或活动的整个生命周期，不仅涉及企业内部，还涉及社会其他部门，因此涉及面广，工作量大。

④偏重环境影响评价。LCA 强调分析产品在生命周期各个阶段对环境的影响，包括能源、物质消耗、污染物排放等，而对产品的经济影响和社会影响涉及较少。

2.7.2 政府环境管理部门和国际组织

政府环境管理部门和国际组织可借助生命周期评价进行环境立法、制度环境标准和推行生态产品标志，这主要表现为以下 5 个方面：

- ①制度环境法律、法规、建立环境产品标准。
- ②实施制定生态标志计划。
- ③优化政府能源、运输和废物管理方案。
- ④向公众提供有关产品和原料的资源信息。
- ⑤建立国际环境管理体系。
- ⑥绿色采购。
- ⑦包装政策。
- ⑧产品导向的环境政策。
- ⑨污染预防。

2.7.3 消费者或消费者组织

消费者组织主要利用生命周期评价指导消费者进行生态产品消费以及对公众行动进行“从摇篮到坟墓”的环境评价。

3 城市污水处理厂升级改造生命周期评价

3.1 前言

为了执行更严格的排放标准，污水处理厂需要增加处理工艺，而所增加的工艺需要电耗、处理药剂和其他原材料。先进的工艺可以改善受纳水体的水质，但同时在工艺的技术生命周期中会对环境和人体健康造成影响，所以需对工艺进行评估。

在工业革命以前，人民生活所产生的污水是通过自然沟渠排入到江河中，但随着城市人口的扩大和工业不断的发展，城市所产生的生活污水及工业污水呈现爆炸式的增长，对城市周边的江河近海及原生态水环境产生了不可逆转的破坏，特别是化工、造纸、印染、钢铁等水污染大户对水环境的破坏尤为严重，造成了江河近海及水源地水质日益恶化、污染成分越来越复杂、能满足工业生产和人民饮用的合格的清洁用水越来越少和治理难度越来越大。水污染造成巨大的经济损失，水资源的短缺制约了城市社会经济的可持续发展。

为了缓解这种严峻的局面，城市污水处理厂应运而生，它在控制水污染，保护水环境方面发挥了重要作用，随着城市发展的进程加快，人们对环境保护的意识也不断提高，水处理程度和标准日益重视，对城镇污水处理厂的出水排放标准也在逐渐提高。

1973 年全国第一次环境保护会议发布的第一个环境保护法规标准是由国家计划委员会、国家基本建设委员会和国家卫生部联合颁发的国家标准《工业“三废”排放试行标准》(GBJ4-73)，内容包括了废气、废水和废渣排放的若干规定，主要体现了当时我国环境保护的主要目标是针对工业污染源的控制。

20 世纪 80 年代，有机污染日趋严重，城镇污水等生活污染问题逐步突出，工业企业的有机污染也不断增加。80 年代对轻工、冶金等 30 多个主要行业制定了行业水污染物排放标准。

1986 年，原建设部发布《污水排入城市下水道水质标准》(CJ18-1986)，对排入城市排水管道的污水水质进行了规定。

1988 年，为了理顺综合与行业水污染物排放标准的关系，解决标准实施中的一些问题，加强对有机污染物的控制，对《工业“三废”排放试行标准》(CBJ4-73)中的废水部分进行了第一次修订，发布了《污水综合排放标准》(GB8978-88)。该标准从结构形式、适用范围、控制项目和指标值等方面都较《工业“三废”排放试行标准》(CBJ4-73)做了较大的修订。

1993 年，原建设部颁布了城镇建设行业标准《城市污水处理厂污水污泥排放

标准》(CB3025-93), 标准适用于全国各地的城市污水处理厂。标准规定: 进入城市污水处理厂的水质, 其值不得超过《污水排入城市下水道水质标准》(CJ18-1986) 标准的规定; 城市污水处理厂按处理工艺与处理程度的不同, 分为一级处理和二级处理; 经城市污水处理厂处理的水质应达到排放标准后才能排放, 并且城市污水处理厂处理后的污水应排入《地面水环境质量标准》(GB3838) 标准规定的Ⅳ、Ⅴ类地面水水域。

1996 年, 为控制水污染, 保护江河、湖泊、运河、渠道、水库和海洋等地面水以及地下水水质的良好状态, 保障人体健康, 维护生态平衡, 促进国民经济和城乡建设的发展, 结合标准的清理整顿, 标准管理部门提出综合排放标准与行业排放标准不交叉执行的原则, 结合新的标准体系和 2000 年环境目标的要求, 对《污水综合排放标准》(GB 8978-88) 再次进行修订, 制定了《污水综合排放标准》(GB 8978-1996), 并于 1998 年 1 月 1 日起实施。该标准颁布之时正是我国淮河等一批河流、湖泊受到严重污染的时期。该标准的制定和颁布对促进三河、三湖等一批水污染治理项目的建设起到了重要作用。

1999 年, 原建设部对《污水排入城市下水道水质标准》(CJ18-1986) 进行了修订, 规定严禁向城市排水管道排放腐蚀性污水、垃圾、积雪、粪便、工业废渣以及易凝、易燃、易爆、剧毒和堵塞排水管道的物质和有害气体; 要求医疗卫生、生物制品、科学研究、肉类加工等含病原体的污水, 必须经严格的消毒处理; 以上污水以及放射性污水, 除执行该标准外, 还必须按有关专业标准执行。该标准规定了排入城市污水管道的污水中共计 35 种有害物质的最高允许浓度, 适用于向城市管道排放污水的排水户。

2000 年, 为贯彻执行《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国海洋环境保护法》, 规范污水海洋处置工程的规划设计、建设和运行管理, 保证在合理利用海洋自然净化能力的同时, 防止和控制海洋污染, 保护海洋资源, 保持海洋的可持续利用, 维护海洋生态平衡, 保障人体健康, 原国家环境保护总局发布了国家环境保护标准《污水海洋处置工程污染控制标准》(GWKB4-2000), 标准规定了污水海洋处置工程主要水污染物的排放浓度限值、初始稀释度、混合区范围及其他一般规定。

2002 年, 为贯彻《中华人民共和国环境保护法》, 加强城镇污水处理厂污染物排放控制和污水资源化利用, 保障人体健康, 原国家环保总局和国家质量监督检验检疫总局联合于 2002 年 12 月 24 日发布国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002), 对城镇污水处理厂出水、废气排放和污泥处置(控制)的污染物限值进行了规定。

2006 年, 原国家环境保护总局发布 2006 年第 21 号公告, “关于发布《城镇污

水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)修改单的公告”，对一级 A 标准和一级 B 标准的执行对象进行修改。

虽然升级改造后的污水处理厂能够强化控制水污染和保护水环境，但是污水处理厂在升级改造后所增加的药剂和构筑物，也在无形中对环境质量产生了不同程度的影响。过去由于污水厂的尾水排放未能控制受纳水体的污染，人们在升级改造污水处理厂时过分强调它的处理效率，而忽略了它在建设及营运中所带来的环境效应。即人们在将污水净化、改善水环境污染问题的同时，又破坏了大气、土壤等其它人类生活息息相关的环境质量。而实际上某些工程项目的实施和处理药剂的投加可能会带来更大的环境负荷，这往往被人们忽视掉。随着社会的发展，污水排放标准的要求越来越高，升级改造工艺不断完善，随之而来的便是更大的能量和药剂消耗，利用生命周期评价方法对现有城市污水处理系统升级改造过程进行综合全面的评价，不仅可以使我们对所升级改造后的污水处理厂的整个生命周期有一个全方位的了解，而且能够对比升级改造前后污水处理厂的环境负荷，从而可以进行环境影响分析。

3.2 城市污水处理厂升级改造工艺分类

城市污水处理厂升级改造可以分为三大类：脱氮除磷工艺、化学除磷工艺、污水深度处理工艺。如表 3.1 所示：

表 3.1 城市污水处理厂升级改造工艺

Table3.1 The upgrade technology in sewage treatment plant

工艺分类	名称	工艺介绍	效果
生物脱氮工艺	A _N /O(缺氧/好氧)	反硝化段设置在系统的前端	脱氮效率在 70%左右，有可能造成污泥上浮
	Bardenpho 工艺	设立两个缺氧段	脱氮效果好，提高污泥的沉降性能
生物除磷工艺	A _P /O(厌氧/好氧)	污水通过厌氧池、好氧池和二沉池流出	传统的生物除磷工艺，效果一般
	测流除磷工艺	增加了除磷池和混合反应池	除磷效果好且稳定
脱氮除磷工艺	A/A/O 工艺	污水通过厌氧池、缺氧池、好氧和二沉池流出，实现同步脱氮除磷	脱氮微生物和除磷微生物生长环境不一样，需控制条件，才能达到好的效果
	phoredox 工艺	改良型 Bardenpho 工艺	脱氮除磷效果好
	UCT 工艺	缺氧池回流到厌氧池	脱氮出磷效果好

工艺分类	名称		工艺介绍	效果
	传统氧化沟工艺		利用沟内 DO 分布的不均匀性, 产生交替循环的好氧区和厌氧区	除氮效果有限 除磷不起作用
	PI 型氧化沟		交替式和变交替式氧化沟	同时脱氮除磷
	奥贝尔氧化沟		同心圆式	脱氮效果很好 除磷效率不高
	卡鲁赛尔氧化沟		满足在较深的氧化沟中使混合液充分混合, 并维持较高的传质效率	脱氮效率为 90% 除磷效率为 50%
	SBR 工艺		兼顾调节、沉淀、初沉、生物降解、终沉等功能于一体的污水生化功能	脱氮除磷效果好
化学除磷工艺	一级强化工艺		进水依次通过沉砂池、混合池、絮凝池和沉淀池, 在混合池投加除磷药剂	磷去除率为 90% 以上 BOD ₅ 为 75% SS 大于 90% 总氮为 25%
	二级强化工艺	前置投加	将除磷药剂投加在沉砂池	除磷效果良好
		同步投加	除磷剂投加在曝气池的进水或回流污泥中	除磷效率达到 85%-90%
		后置投加	将除磷剂加入二沉池之后固液分离设备	出水 TP 浓度低于 0.5mg/L
深度处理工艺	混凝沉淀和过滤消毒		在处理工艺后面增设混凝、沉淀、过滤工艺	二级出水的浊度由 6-14NTU 下降至 0.12NTU, TP 由 1.3-2.6mg/L 降至 0.1mg/L, BOD 由 7-13mg/L 下降至 1-2.5mg/L, TOC 由 10-11mg/L 下降至 4.2-4.5mg/L, 去除氨氮效果不好
	活性炭吸附工艺		在处理工艺后面增设活性炭工艺	活性炭对分子量在 500-3000 的有机物有十分明显的去除效果, 去除率一般为 70%

工艺分类	名称	工艺介绍	效果
			-86.7%
	臭氧氧化工艺	在处理工艺后面增设臭氧氧化工艺	臭氧能氧化分解水中各种杂质所造成的色、嗅，脱色效果比活性炭好，并且降低出水浊度
	膜分离工艺	在处理工艺后面增设膜工艺	能够较好去除传统方法难以脱除的溶解性化学物质
	高级氧化工艺	产生极强的自由基	使难降解有机污染物转变成易降解小分子物质
	臭氧和生物活性炭联用工艺	臭氧是强化剂活性炭是吸附有机物最有效的吸附剂	两者联用具有化学氧化、物理吹附与生物降解三方面的作用
	人工湿地工艺	一种人工强化的自然湿地系统	BOD 的去除率达 85%-95% COD 的去除率可达 80%以上 SS 小于 20mg/L TN 的去除率可达 60% TP 的去除率可达 90%
	膜生物反应器 (MBR)	将超、微滤膜分离技术与污水处理中的生物反应器相结合	出水水质好 占地面积小 节省运行成本
	曝气生物滤池 (BAF)	在一级强化处理的基础上将生物氧化和截留悬浮物结合在一起，滤池后面不设二次沉淀池，通过反冲洗实现周期性运行	去除效果好

3.3 目的和范围的确定

杨健^[19]等人曾针对污水处理工艺的生命周期进行了初步的定义和探讨，郑泽根^[4]等人对三峡库区城市污水厂进行了全过程生命周期的环境影响评价，重点在于将污水厂系统视为一个产品从其施工、运行一直到废弃阶段进行了分析。而笔者这次研究重点聚集在污水厂升级改造后对环境的影响变化趋势。

3.3.1 研究目的

通过使城市污水厂进行升级改造后过程的出水达到现行排放一级 A 标，识别

和判断污水处理厂在经过了升级改造后与升级改造前相比的环境变化影响趋势。

假设升级改造前阶段对环境的影响值为 A ，升级改造后阶段对环境的影响值为 B ：

$A > B$ ，说明升级改造后反而减轻了环境影响；

$A = B$ ，说明升级改造前后对环境的影响一样；

$A < B$ ，说明升级改造后加大了对环境的影响。

所以本次评价目标为，分析、评价中国城市污水处理厂在升级改造生命周期过程中所涉及的资源、能源利用及生产其的工业链和环境排放状况，识别和判断污水处理厂在升级改造前后对环境的影响，为政府决策提供依据，并依此提出相应的政策措施或建议。

3.3.2 研究范围

①产品系统

研究的产品系统为城市污水处理厂，包括该污水处理厂升级改造前过程，污水处理厂升级改造后过程。

1)污水处理厂升级改造前过程

污水处理厂升级改造前的生命周期阶段包括：污水处理厂升级改造前建设阶段和污水处理厂升级改造前运营阶段，其中建设阶段又可以细分为：原材料获取、运输和施工建设等阶段。生命周期流程如图 3.1。

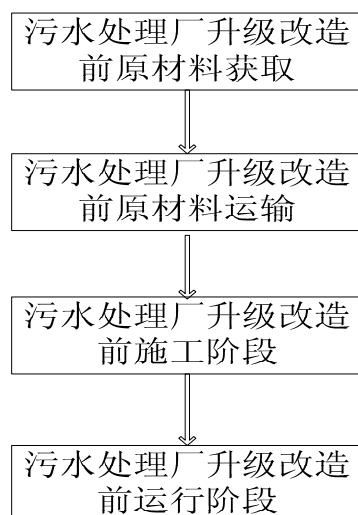


图 3.1 城市污水处理厂升级改造前生命周期评价流程图

Fig.3.1 The flow chart of Life cycle assessment of upgrading sewage treatment plant

2)污水处理厂升级改造后过程

污水处理厂升级改造后的生命周期阶段包括：污水处理厂升级改造前阶段、

污水处理厂升级改造建设阶段、污水处理厂升级改造后运行阶段。生命周期流程如图 3.2。

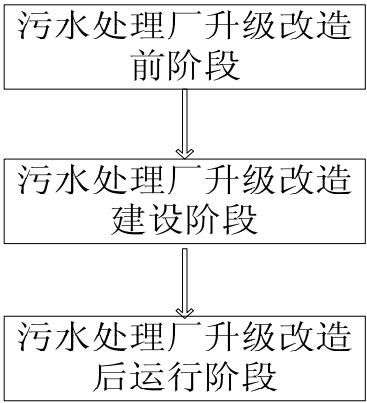


图 3.2 城市污水处理厂升级改造后生命周期评价流程图

Fig.3.2 The flow chart of Life cycle assessment of upgraded sewage treatment plant

②功能单元

以城市污水处理厂的日处理能力（m³/d）作为生命周期分析的功能单元，用来计算污水处理厂每一个生命周期阶段的输入与输出。

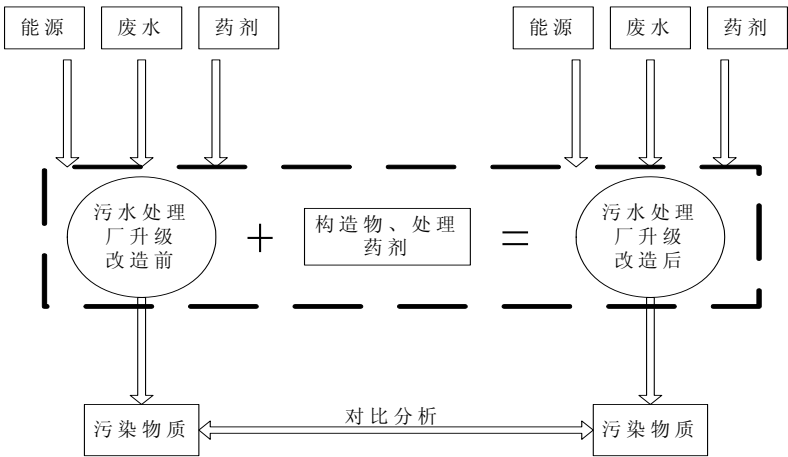


图 3.3 城市污水处理厂升级改造前后生命周期评价系统及边界

Fig.3.3 System and boundary of LCA for before and after upgrading of municipalwastewater treatment plant

③范围界定

生命周期评价范围界定是由所开展的研究目的、预期应用及研究深度和广度等因

素所确定。基于污水处理技术不断的更新，因此在污水处理厂的生命周期评价也是不断的变化之中。对于考察对象污水来说，各类污染物包括 COD、BOD、SS、TP、TN 等所超标进入污水处理厂的污水为进水，通过处理技术把上述 COD、BOD、SS、TP、TN 处理达到一级 A 标排放标准的水为出水。在这一过程中，不仅有废气、废渣、臭味等污染物的排放，同时还有污泥的产生。本论文的研究重点聚集在城市污水厂处理工艺升级改造前后污染物排放量的多少。因此，本次研究涉及两个过程，以原材料的产生作为 LCA 研究的开始，以处理后的达标水的排放和污泥渣的处置作为 LCA 的结束。城市污水厂升级改造前后生命周期评价系统及边界见图 3.3。

3.4 清单分析

3.4.1 清单的内容

根据所定义的目标和范围来确定所需清单的内容，在已开展 LCA 关于污水厂的研究中，都把焦点集中在污水厂全生命周期对环境的影响分析，而忽视了投加物在形成前，需在生产工业链加入原料所致的环境影响和污水厂未来升级改造后污水厂可能对环境的影响。所以，在本次生命周期评价中，不仅考虑输入清单列举物质的原料，还将考虑污水厂升级改造前阶段的环境负荷和升级改造后阶段的环境负荷。随着升级改造后工艺的改变，相关输入和输出量可能也会发生改变，从而可能造成污染负荷的变化，如：原材料、能耗、药剂的投加量等等。

在综合考虑各方面影响因素的前提下，确定污水处理厂升级改造前后的清单数据包括：污水处理厂升级改造前的清单数据分析、污水处理厂升级改造后的清单数据分析。

3.4.2 城市污水厂升级改造前的清单分析

通过相关污水处理厂的运行实践，随着污水量的逐步增长和污水排放标准的提高，大部分污水处理厂在 15~20 年内就需要进行一定的改造更新。因此，污水处理设施运行阶段产生的环境问题可按 20 年的运行生命期进行考虑。

①城市污水厂升级改造前建设阶段清单分析

污水处理厂建设阶段从原材料的获取开始，至污水处理厂施工建设完成为止。这一阶段的输入主要是钢材、混凝土等原材料和电能的输入，其输出主要是建材获取和运输以及施工建设过程中所产生的废水、废气和固体废弃物等。

表 3.2 城市污水处理厂建设阶段资源和能源消耗清单

Table3.2 The Consumption of energy and resource of sewage treatment plant in construction stage			
名称	钢材(t)	混凝土(m ³)	电能(kwh)
污水处理厂 A			
污水处理厂 B			
污水处理厂 C			
污水处理厂 D			
污水处理厂 E			

表 3.3 城市污水处理厂各种原材料生产阶段能源和资源消耗

Table3.3 The Consumption of raw materials of sewage treatment plant in construction stage										
消耗物质	污水处理厂 A		污水处理厂 B		污水处理厂 C		污水处理厂 D		污水处理厂 E	
	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)
电能(kwh)										
煤(t)										
水(t)										

表 3.4 城市污水处理厂原材料运输情况表

Table3.4 The transportation of raw materials of sewage treatment plant							
污水厂工 艺名称	内容 原材料	车型	燃油种类	载重量	运输距离	总运输 距离	油耗
污水处理 厂 A	钢材 混凝土						
污水处理 厂 B	钢材 混凝土						
污水处理 厂 C	钢材 混凝土						
污水处理 厂 D	钢材 混凝土						
污水处理 厂 E	钢材 混凝土						

表 3.5 城市污水处理厂各种原材料生产阶段大气污染物排放

Table3.5 The production of raw materials of sewage treatment plant releasing the pollution of gas

污水处理工艺	排放污染物名称	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	CO (t)	NO _x (t)	SO ₂ (t)	TSP (t)
污水处理厂 A	混凝土 钢材 电能						
污水处理厂 B	混凝土 钢材 电能						
污水处理厂 C	混凝土 钢材 电能						
污水处理厂 D	混凝土 钢材 电能						
污水处理厂 E	混凝土 钢材 电能						

表 3.6 城市污水处理厂各种原材料生产阶段水污染和固体废弃物排放

Table3.6 The production of raw materials of sewage treatment plant releasing the liquid and solid

污水处理工艺	排放污染物 名称	COD(t)	SS(t)	固体废弃物(t)
污水处理厂 A	混凝土 钢材			
污水处理厂 B	混凝土 钢材			
污水处理厂 C	混凝土 钢材			
污水处理厂 D	混凝土 钢材			
污水处理厂 E	混凝土 钢材			

表 3.7 成品油生产过程的环境释放清单单位: kg

Table3.7 The production of refined oil of release polluted substance

内容 处理工艺	原煤消耗	原油消耗	CO ₂	NO _x	CH ₄	CO	SO ₂
污水处理厂 A							
污水处理厂 B							
污水处理厂 C							
污水处理厂 D							
污水处理厂 E							
内容 处理工艺	TSP	COD	SS	TN	TP	固废	
污水处理厂 A							
污水处理厂 B							
污水处理厂 C							
污水处理厂 D							
污水处理厂 E							

表 3.8 道路运输环境释放清单

Table3.8 The list of transportation release

污染物种类 污水处理工艺	CO ₂ (kg)	CO(kg)	CH ₄ (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CH(kg)	TSP(kg)
污水处理厂 A							
污水处理厂 B							
污水处理厂 C							
污水处理厂 D							
污水处理厂 E							

②城市污水厂升级改造前运行阶段清单分析

在城市污水厂升级改造前, 污水处理单元发挥着主要功能。不同的污水厂使用的处理工艺也不同, 在其处理阶段的数据主要包括四部分内容, 即污水处理设备运行阶段的所投加物的原料消耗、物质消耗、能源消耗、各种不同种类环境效应和各项出水水质指标。

表 3.9 污水处理厂升级改造前阶段道理运输情况

Table3.9 Sewage treatment plant upgrading stage transportation

材料名称	量 t/a	运输车辆	燃油种类	载重量	运输距离	总运输距离	油耗 L
剩余污泥							
生活垃圾							
栅渣							
沉砂							

表 3.10 污水处理厂升级改造前阶段电能消耗输入清单

Table3.10 Sewage treatment plant upgrading stage before the consumption
of electrical energy input list

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
总计					

表 3.11 电的生产过程污染物排放量

Table3.11 The production process of electricity release

污染物	CO ₂	CH ₄	SO ₂	NO _x	TSP	CO
排放量(t/a)						
污染物	COD	SS	TN	TP	固废	
排放量(t/a)						

表 3.12 道路运输环境释放清单

Table3.12 The list of transportation release

	CO ₂	CO	CH ₄	SO ₂	NO _x	CH	烟尘
汽油排放因子							
污染物排放量(kg)							

表 3.13 药剂的生产过程污染物排放量

Table 3.13 The production process of medicine release

污染物	CO ₂	CH ₄	SO ₂	NO _x	TSP	CO
排放量(t/a)						
污染物	COD	SS	TN	TP	固废	
排放量(t/a)						

表 3.14 污水处理厂进出水水质清单

Table 3.14 List of water sewage treatment plant influent and effluent

进水	月份	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
水质	平均值						
出水	月份	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
水质	平均值						

表 3.15 固体废弃物产量

Table 3.15 The Solid waste output

污染源	污染物名称	产生量 t/a	处置方式	排放量 t/a
工作人员	生活垃圾			
预处理间	栅渣			
旋流式沉砂池	沉砂			
污泥脱水间	剩余污泥			

3.4.3 城市污水厂升级改造后的清单分析

根据本论文的研究思路，即对比升级改造前后的环境影响，所以，将升级改造后污水处理设施运行阶段产生的环境问题也按 20 年的运行生命期进行考虑。

升级改造后过程的清单分析内容与改造前大体一致，只需将改造工艺所增加的处理单元、处理药剂的数据放入相对应的清单中即可。

3.5 环境影响评价

通过清单分析所得到的数据，接下来对所需的污水厂各个生命周期过程进行分析。首先是对污水处理厂升级改造前后的输入与输出部分进行环境影响分类，其次通过特征化将分类结果利用相关生命周期软件如：Simapro 进行表征，最后进行量化。

3.5.1 分类

根据目标定义和范围界定所确定的系统边界及清单分析阶段所提供的数据清单，对污水厂升级改造前后过程的环境问题进行分类。生命周期评价(LCA)的环境影响类型普遍包括三大类：资源能源利用、生态环境破坏和人体健康影响。每一大类环境影响下又包括许多亚类^[8]。

3.5.2 特征化

分类之后，接下来就是对各个环境影响进行特征化。根据 EPA 的研究，对以下环境影响因素提出了相应的计算公式和解决办法，包括非化石燃料的消耗、化石燃料的消耗、固体废弃物的占用空间、温室气体、光化学烟雾、大气酸化、水体富营养化、水质影响、雾霾聚集影响、致癌和非致癌物质等^[68]，具体情况参见 4.4 节。

3.5.3 量化

量化是通过确定不同环境影响类型的贡献值或权重系数，从而得到总的环境影响水平的过程。目前，在生命周期评价中有多种权重系数确定的方法，如专家打分法，目标距离法等，其中应用最广的为层次分析法(AHP)^[74-75]。

①层次分析法的介绍

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP)是本世纪 70 年代中期被由美国运筹学家匹茨堡大学教授 A. L. Satty 于本世纪 70 年代初，在为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时，应用网络系统理论和多目标综合评价方法，提出的一种层次权重决策分析方法，经过多年的发展现已成为一种较为成熟的系统规划方法。它是通过应用数学方法将决策规划过程中定性分析与定量分析有机地结合起来，统一进行优化、处理而得到合理结果的一种多目标决策方法，是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程。

②层次分析法的步骤

1)构建层次模型

采用层次分析法对目标问题进行决策分析时，首先要明确所研究的问题，分析问题所包含的各个因素，明确各因素之间的相互关系，构建子目标层，形成层次模型。

2) 构造判断矩阵

判断矩阵是整个层次分析法的基础，在建立层次模型之后，通过对目标层之内的因素两两之间进行相对重要性比较之后，以矩阵的形式表示出来，其基本形式如图 3.4 所示。

C_i	P_1	P_2	P_3	P_4		P_n
P_1	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}		b_{1n}
P_2	b_{21}	b_{22}	b_{23}	b_{24}		b_{2n}
P_3	b_{31}	b_{32}	b_{33}	b_{34}		b_{3n}
P_4	b_{41}	b_{42}	b_{43}	b_{44}		b_{4n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
P_n	b_{n1}	b_{n2}	b_{n3}	b_{n4}		b_{nn}

图 3.4 判断矩阵基本形式

Fig. 3.4 The basic form of the judgment matrix

在判断矩阵构建过程中，为了使所的判断结果定量化，通常采用九标标度法表示两个因素之间的相对重要性，即是用“1-9”九个数字表示来表示两因素之间相对重要性的比较结果，其基本含义如表 3.8 所示

表 3.8 判断矩阵标度及其含义

Table3.8 The Sign and meaning of judgement matrix

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比，一个因素比另一个因素极端重要
2、4、6、8	上述两个相邻判断的中值
倒数	因素 i 与因素 j 的比较得判断 b_{ij} ，则因素 j 与因素 i 的比较得判断 $b_{ji}=1/b_{ij}$

3) 判断矩阵一致性检验

为判断所确定的两两因素的相对重要性的比较结果是否满足一致性要求，要对所得的判断矩阵进行一致性检验。其具体方法如图 4-21 所示。首先求解判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ ，其次计算判断矩阵的一致性指标 CI，最后通过比较判断矩阵的一致性指标 CI 和平均随机一致性指标 RI（如表 4-13 所示）得到一致性比率 CR。当 $CR < 0.1$ 时，说明判断矩阵满足一致性要求，当 $CR \geq 0.1$ 时，说明要对判断矩阵进行修正，重新比较确定。

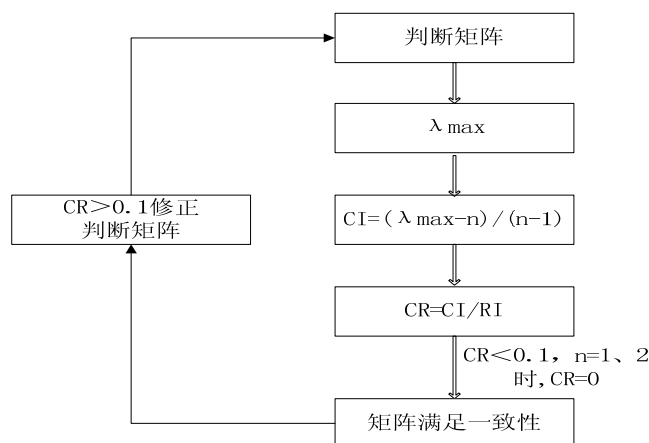


图 3.5 矩阵一致性检验

Fig. 3.5 Consistent matrix

表 3.9 平均随机一致性指标

Table3.9 Mean random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3) 层次排序

判断矩阵经过一致性检验之后，就可通过求解判断矩阵的最大特征向量确定各指标层权重。一般采用方均根法求解权重向量。

首先，计算判断矩阵中每一行元素的相应几何平均值，得到向量 M 。

$$m_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n b_{ij}} \quad n=1,2,3\cdots n$$

$$M = [m_1, m_2, m_3 \cdots m_n]^T$$

其次，对向量 M 做归一化处理，得到最后的权重向量 w 。

$$w_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^{10} m_i}$$

$$w = [w_1, w_2, w_3 \cdots w_n]^T$$

经过求解判断矩阵的权重向量，可以得到判断矩阵的最大特征值为：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}$$

式中 $(Aw)_i$ 是判断矩阵左乘权重向量后得到的对应向量的第 i 个分量。经计算后可得到判断矩阵所对应的权重向量和最大特征值，并进行矩阵一致性检验。

3.6 结果解释

生命周期解释存在于 LCA 的整个过程中，它是以前面几个步骤(研究目的和范围界定、清单分析、影响评价)为基础的，通过结果的获得来识别出所存在的重大问题并形成结论，最后提出相应的建议。根据 ISO14044-2006 和 ISO14040—2006 中的要求，生命周期解释通常包括报告、重大问题识别和评估三个要素。

4 重庆市城市污水厂升级改造环境影响的生命周期分析 ——以李家沱污水厂为例

第3章给出了用生命周期评价方法来评价城市污水处理厂升级改造环境影响的步骤，在本章将通过具体的工程实例的应用来进行分析，从而考察该评价体系的可行性及应用效果。

4.1 研究范围

4.1.1 产品系统

本文研究对象为重庆市李家沱污水处理厂，包括该污水处理厂升级改造前过程，污水处理厂升级改造后过程。由于李家沱污水处理厂现在未进行提标改造，所以本文基于中南市政设计院给李家沱污水厂升级改造所写的初步方案为基础，模拟该污水厂升级改造后的工艺。

李家沱污水处理厂位于重庆市巴南区花溪河西岸的蒋家湾，北距花溪河入江口约 500m，背靠重庆工业搪瓷厂，右邻重庆畜牧公司种畜场，与李家沱长江大桥南桥头隔河相望。该污水处理厂于 2003 年立项，2004 年开工建设，2006 年建成投产，近期(2004-2010)处理能力为 4 万 m^3/d ，远期(2010-2020)处理能力为 8 万 m^3/d ，一期工程占地面积 6.81 亩，总投资 5000 万元，污水处理工艺为 CAST(Cyclic Activated Sludge System)，出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准 GB18918-2002》一级 B 排放标准，尾水直接排入长江干流。其主要构筑物包括办公楼，预处理间，CAST 池，鼓风机房，污泥池，污泥脱水间，消毒间，消毒池，天然气锅炉房和变配电室。其工艺流程如图 4.1 所示：

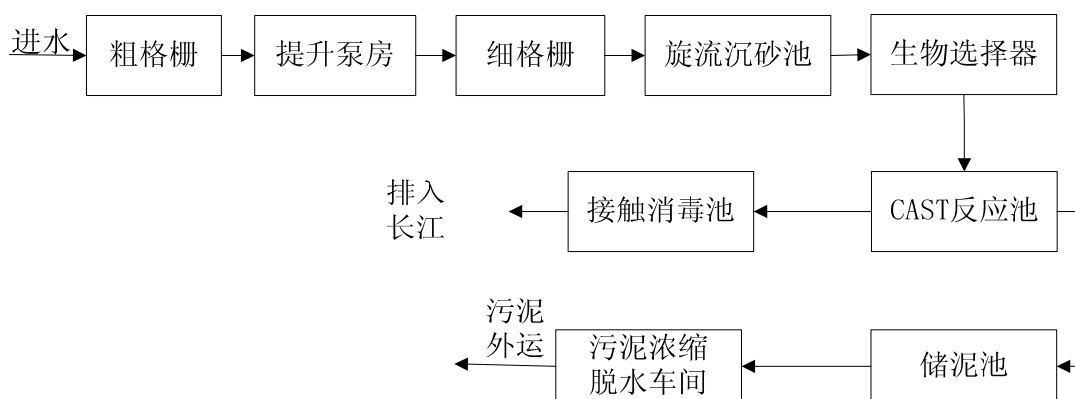


图 4.1 李家沱污水处理厂升级改造前工艺流程图

Fig. 4.1 Upgrading of process flow diagram about Li Jia Tuo sewage treatment plant

李家沱污水处理厂污水处理主体工艺采用 CAST 工艺，工业废水和城市生活污水首先通过城市排水管网将污水送入李家沱污水处理厂，经粗格栅、污水提升泵房、细格栅、旋流沉砂池、CAST 池、在接触消毒池中经加氯消毒后排入花溪河。现处理规模为 4 万 m³/d。

① 设计进、出水水质

表 4.1 李家沱污水厂设计进水水质

Table4.1 Water quality design of Li Jia Tuo sewage treatment plant

项目	COD(mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS(mg/L)	TN(mg/L)	NH ₃ -N(mg/L)	TP(mg/L)
指标	350	180	200	40	35	4

表 4.2 李家沱污水厂升级改造前出水水质

Table4.2 Upgrading of the effluent quality of Li Jia Tuo sewage treatment plant

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	粪大肠杆菌 (个/L)
指标	60	20	20	20	8	1.5	<10 ⁴

② 主要设备及构筑物

1)粗格栅机

李家沱城市污水处理厂设有不锈钢缆式自动格栅除污机两台，技术参数包括电机总功率 1.85kw，格栅宽带 1400mm，栅条净距 20mm，除污井深 12.9m，宽度 1340mm，用来拦截进水悬浮物，保护水泵，安装角度为 75°。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

2)提升泵房

污水提升泵房采用四台潜水提升泵，每台水泵的型号为 WQ330-20-30，技术参数包括电机功率为 30kw、转速 1450r/min、流量 330m³/h、扬程 20m。用于将污水提升至格栅进行后续处理。

3)电动葫芦

电动葫芦安装在提升泵房内，规格型号为 CD1-3T，技术参数包括起重量 3t、起升高度 18m。用于将提升泵房中污水泵的起重。

4)细格栅机

细格栅机安装在细格栅内，共有 5 台，每台细格栅机的型号为 GSGS1200*1950，技术参数包括电机功率为 1.5kw、格栅宽度 1200mm、栅条净距

5mm。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

5)无轴螺旋输送机

无轴螺旋输送机为 3 台，一台安装在粗格栅机内，另两台安装在细格栅机内，规格型号为 WLSY320*6000，技术参数包括电机功率 2.2kw、螺旋直径 320mm、运输长度 6000mm、转速 18r/min。输送格栅上截留的固体垃圾。

6)潜水搅拌机

潜水搅拌机为 2 台，安装在生物选择池中，规格型号为 QJB/4/1800，技术参数包括电机功率 4kw、叶轮直径 1800mm。用于搅拌推流。

7)三叶罗茨鼓风机

三叶罗茨鼓风机为 2 台，技术参数包括电机功率 4kw、升压 58.8kpa。为旋流沉砂器供应风量。

8)旋流沉砂器

旋流沉砂器为 2 台，型号 XLC720，技术参数包括叶片直径 1000mm、处理能力 720m³/h、电机功率 1.1kw、转速 12-20rpm、重量 820kg。在污水进入生物池之前，去除比重较大的无机颗粒。

9)砂水分离器

砂水分离器 1 台，安装在旋流沉砂池内，规格型号为 FSJ260，技术参数包括电机功率 0.37kw、螺旋直径 215mm、转速 6r/min。

10)空压机

空压机 2 台，安装在污泥脱水间，规格型号为 RA-20，技术参数包括电机功率 1.5kw、转速 1400r/min、空气流量 12m³/h。

11)冲洗泵

冲洗泵 2 台，安装在污泥脱水间，规格型号为 IS65-40-250B，技术参数包括电机功率 11kw、流量 21.7m³/h、扬程 60m。

12)带式浓缩脱水机

带式浓缩脱水机 2 台，安装在污泥脱水间，规格型号为 DNYB-1500，技术参数包括浓缩段主传动电机功率 1.5kw、压滤段主传动电机功率 2.2kw，宽度为 1500mm。进行污泥脱水，降低污泥含水率。

13)进泥偏心螺杆泵

进泥偏心螺杆泵 2 台，安装在污泥脱水间，规格型号为 G85-1-11T-ZD15-6，技术参数包括电机功率 11kw、流量 2-35m³/h、转速 35-350r/min、压力 0.3mpa。将储泥池内剩余污泥输送至脱泥机。

14)潜水回流泵

潜水回流泵 2 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 WQJB-W-117-9-5.5，

技术参数包括电机功率 5.5kw、流量 117m³/h、扬程 9m。用于将活性污泥输送至选择池。

15)潜水搅拌机

潜水搅拌机 16 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 QJB/2.2/1400，技术参数包括电机功率 2.2kw、叶轮直径 1400mm。用于搅拌推流

16) ORP 在线仪

ORP 在线仪 8 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 P53A4A1N/RD1R5，技术参数为 JD±0.1%LC-2100-2100。对污水进行氧化还原电位测定

17)滗水器

滗水器 16 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 ZYSR-900，技术参数包括电机功率 1.5kw、滗水流量 900m³/h、滗水深度 2.5m。将 CAST 池中澄清水滗出，而不搅动沉淀。

18)潜水剩余泵

潜水剩余泵 14 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 QJB-W-68-12-4，技术参数包括电机功率 4.0kw、流量 68m³/h、扬程 12m。用于将剩余污泥输送至储泥池。

19) DO 在线仪

DO 在线仪 8 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 LDO，技术参数 JD±1%/LC0-15。用于测定 CAST 池中的 DO。

20) MLSS 在线仪

MLSS 在线仪 8 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 SC200，技术参数 JD±1%/LC0-10。进行污泥浓度测定。

21)电动蝶阀

电动蝶阀 8 台，安装在 CAST 生物处理池，规格型号为 VM-01，技术参数 VM-01/BPR-3。用于调节曝气量。

22)离心式鼓风机

离心式鼓风机 3 台，设置在鼓风机房中，向 CAST 生化池供氧，两台由丹麦 HV-TORBO 生产，一台由重庆通用生产，技术参数包括两台额定功率 132kw、一台额定功率 160kw、两台供气量 49.5-110m³/min、一台供气量 96m³/min。向 CAST 池充气供氧，提供微生物生化作用去除污水中污染物质活动所需要的氧气。

23)管道离心泵

管道离心泵 2 台，安装在鼓风机房，规格型号为 ZRC-32-160，技术参数包括电机功率 1.5kw、流量 5m³/h、转速 25-40r/min。用于循环冷却水。

24 自吸泵

自吸泵 3 台，安装在接触消毒池，规格型号为 80ZX50-40，技术参数包括电机功率 15kw、流量 50m³/h、扬程 40m。用于中水回用。

25)真空加氯机

真空加氯机 2 台，设置在加氯间，规格型号为 V-2000，生产厂家西门子，技术参数单台加氯能力 20kg/h、高 1700mm、宽 699mm、最大投加能力 37.5kg/h。用于出水消毒。

26)加药螺杆泵

加药螺杆泵 2 台，设置在污泥脱水间，规格型号为 G20-1，主要技术参数为电机功率 1.1kw、流量 12m³/h、转速 950r/min。

27)三槽式加药装置

加药装置 1 座，设置在污泥脱水间，规格型号为 SJY1800，主要技术参数为电机功率 1.68kw、有效容积 2840L、药剂制备 2600L/h。

4.1.2 功能单元

以李家沱污水处理厂的日处理能力（40000m³/d）作为生命周期分析的功能单元，用来计算污水处理厂每一个生命周期阶段的输入与输出。

4.1.3 范围界定

李家沱污水处理厂范围界定如图 4.2 所示：

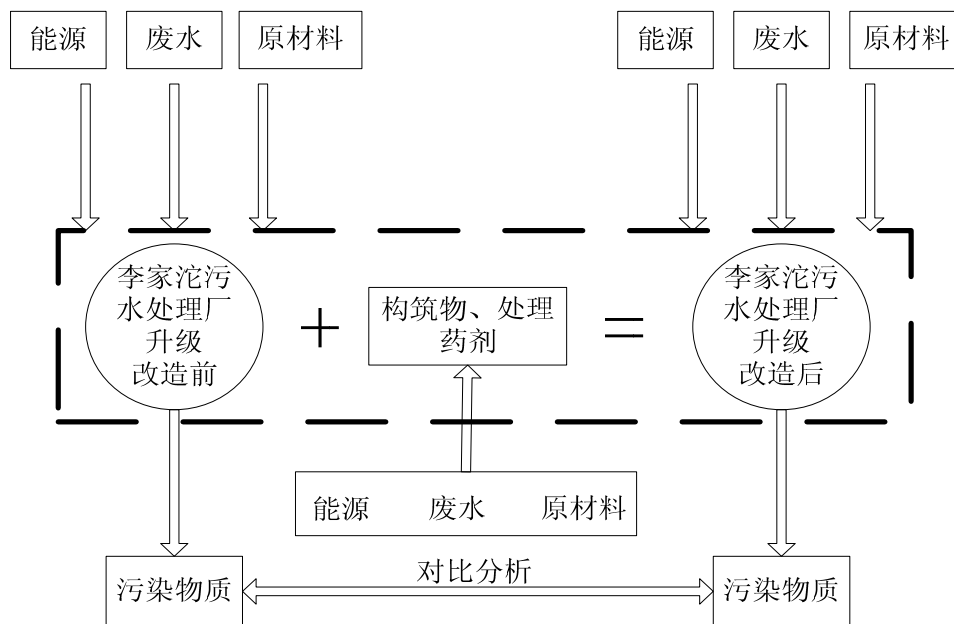


图 4.2 李家沱污水处理厂升级改造前后生命周期评价系统及边界

Fig.4.2 System and boundary of LCA for before and after upgrading of Li Jia Tuo wastewater treatment plant

4.2 清单分析

本次对李家沱污水处理厂生命周期评价分为两个阶段：一个阶段为污水处理厂升级改造前的建设过程，另一个阶段为污水处理厂升级改造后的运行过程。

由于本文选取李家沱污水处理厂处理工艺作为生命周期的评价对象，该企业提供的数据有限，所以李家沱污水处理厂生命周期中的环境影响，本文将重点分析施工阶段和运行阶段的资源消耗，能源消耗和污染物的排放，拆除阶段的影响不予考虑。污水处理厂施工阶段输入的主要原材料为钢筋和混凝土，能源为电能；污水处理厂在运行阶段对材料的消耗比较少，可以忽略不计，运行阶段的能耗包括处理阶段的直接能耗和运行阶段的间接能耗(例如：投加氯气所消耗的电能)。直接能耗包括污水处理各个构筑物内所需的设备动力和运输车辆能耗等。除直接能耗外，污水处理所用的材料和设施也耗费大量的能量。由于此能耗不计入每日处理能耗内，故称之为间接能耗，污水处理厂在运行阶段不同的构筑物内投加不同的药剂，这些药剂的能耗即属于间接能耗。

本论文中用 W1 来代表李家沱污水处理厂升级改造前工艺；W2 代表李家沱污水处理厂升级改造后工艺；W3 代表笔者设计的李家沱污水处理厂 A²/O 工艺；W4 代表笔者设计的李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺；W5 代表笔者设计的李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺。

4.2.1 每个工艺的介绍

①李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1

该内容参考 4.1 小节。

②李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2

李家沱污水厂升级改造后，在 CAST 池出水设置中间提升泵房，随后进入高速纤维滤池。

设计高速纤维滤料滤池 1 座，分为 4 格，滤速：16m/h，单格有效面积：28.72m²。

反冲洗分三个阶段：

单独气洗：历时 3~5min，气洗强度 23L/(m²·s)；

气水同时反冲洗：历时 8~10min，气洗强度 23L/(m²·s)，水洗强度 6L/(m²·s)；

清水漂洗：冲洗历时 3~5min，冲洗强度 6L/(m²·s)；

反冲洗全过程伴有表面扫洗，表面扫洗强度 1.4~2.8L/(m²·s)。

反洗设备间、控制室与高速纤维滤料滤池合建，内置与高速纤维滤料滤池配套的反洗水泵和反洗风机。其中反洗水泵 (Q=310m³/h ,H=10m，功率 18.5kw) 3 台，2 用 1 备；反洗风机 (Q=20m³/min，升压：△P=5kpa，功率 15kw) 3 台，2 用 1 备；潜水排污泵 (Q=8m³/h,H=12m,N=0.75kW)，用于排除泵房积水。

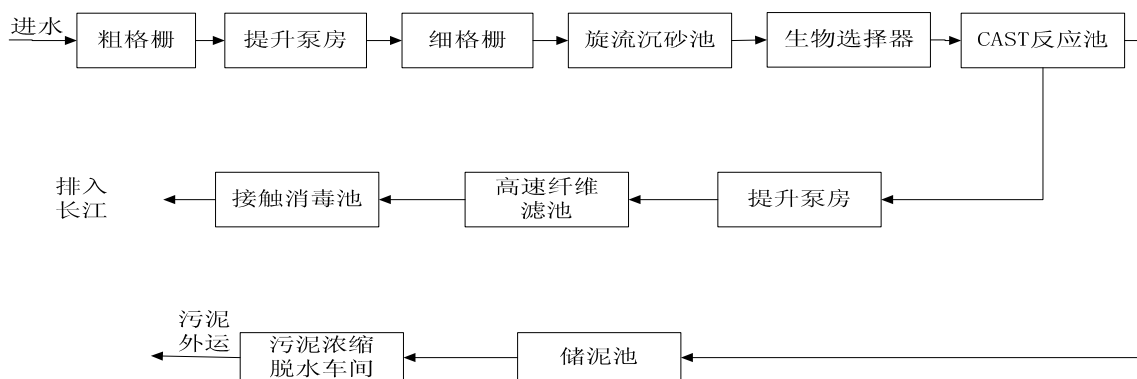


图 4.3 李家沱污水处理厂升级改造后工艺流程图

Fig4.3 Upgraded of process flow diagram about Li Jia Tuo sewage treatment plant

③李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3

污水经格栅井去除较大的垃圾后进入泵房提升井，进水泵房提升后进入细格栅井，然后进入水力旋流沉砂池，水中的砂粒沉入池的集砂槽，出水直接进入初次沉淀池，初次沉淀池一方面去除部分 SS、漂浮物质和进行撇油处理，同时通过初次池的作用，可稳定进水水质，提高进水中的 VFA；初次沉淀池处理出水后进入生物反应池配水井，经平均分配后进入后续三组生物反应池，出水进入二次沉淀池。二次沉淀池出水一部分通过污水提升井提升至曝气生物滤池，经曝气生物滤池进入紫外线消毒池，然后排出。

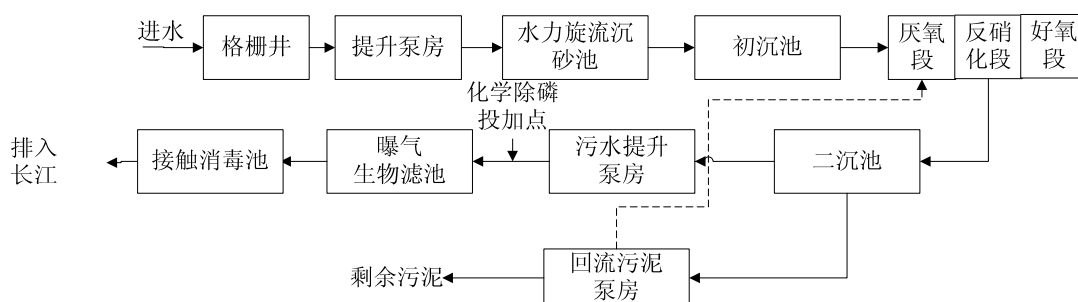


图 4.4 李家沱污水处理厂 A²/O 工艺流程图

Fig. 4.4 A²/O of process flow diagram about Li Jia Tuo sewage treatment plant

1) 粗格栅

2 台回转式格栅除污机，栅渠宽度 1800mm、栅前水深 1.5m、格栅有效宽度 1500mm、栅条间隙 10mm、安装角度 77°、单机功率 2.2kw。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

2) 提升泵房

提升泵房中含有 5 台水泵, 单台流量为 $950\text{m}^3/\text{h}$, 数量为 4 台(3 用 1 备), 单机功率 45kw ; 1 台流量为 $540\text{m}^3/\text{h}$, 功率 30kw 。用于将污水提升至格栅进行后续处理。

3) 细格栅

2 台回转式固液分离机, 栅渠宽度 1500 、格栅有效宽度 600mm 、栅条间隙 5mm 、安装角度 75° , 单机功率 1.5kw 。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

4) 水力旋流沉砂池

池数 2 池, 水力停留时间 4min , 有效容积为 168m^3 , 污水排砂量为 $1.8\text{m}^3/\text{d}$ 。在污水进入生物池之前, 去除比重较大的无机颗粒。

5) 初次沉淀池

池数 1 只, 平均表面负荷 $3.54\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、SS 去除率 20% 。用于降低污水中的悬浮固体浓度。

6) 曝气池

池数 3 只, 平均需氧量 $181\text{m}^3/\text{min}$ 。利用活性污泥法进行污水处理。

7) 二次沉淀池

池数 4 只, 平均表面负荷 $1.1\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、池径 30m 。污泥分离, 使混合液澄清、浓缩和回流活性污泥。

8) 鼓风机房

数量 1 座, 3 台(2 用 1 备)鼓风机, 单机风量 $250\text{m}^3/\text{min}$ 、风压 $H=0.07\text{MPa}$ 、电机功率 360kw 。向生物池充气供氧, 提供微生物生化作用去除污水中污染物质活动所需要的氧气。

9) 曝气生物滤池

数量 10 组, 平均供气量 $80\text{m}^3/\text{min}$ 、风压 $\text{mH}_2\text{O}4.5\text{m}$ 。对曝气池的出水进行深度处理。

10) 真空加氯机

真空加氯机 2 台, 规格型号为 V-2000, 生产厂家西门子, 技术参数单台加氯能力 $20\text{kg}/\text{h}$ 、高 1700mm 、宽 699mm 、最大投加能力 $37.5\text{kg}/\text{h}$ 。

11) 浓缩机和储泥池

储泥池 1 座; 浓缩机数量 2 台, 单机功率 2.2kw 、浓缩加药量 $0.0005\text{kgPAM}/\text{kgDS}$ 。进行污泥脱水, 降低污泥含水率。

12) 好氧消化池和消化污泥储泥池

消化池数量 1 座, 好氧消化后的固体量 $5900\text{kgDS}/\text{d}$; 消化污泥储泥池直径 14m 。用于处理剩余活性污泥。

13) 脱水机房

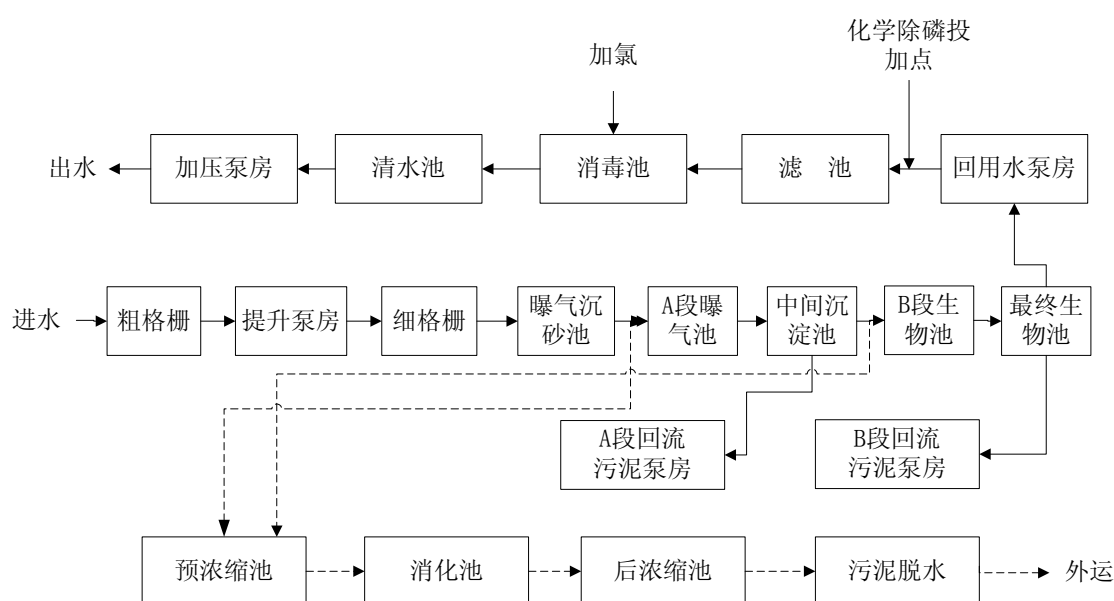
污泥离心脱水机 2 台，单台能力 5-10m³/h、单机功率 22kw、加药量 0.002kgPAM/kgDS。

14) 除臭装置

数量 2 套，除臭装置类型：生物滤池和异味控制除臭。

④李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4

污水经格栅井去除污水中的悬浮和漂浮物后，进水泵房提升后进入细格栅井，然后进入曝气沉砂池，然后进入 A 段曝气池及中间沉淀池，进入 B 段生物滤池分厌氧、缺氧、好氧三部分，最后进入最终沉淀池。其中 A 段及 B 段均有污泥回流，



剩余污泥进入预浓缩池、消化池、后浓缩池处理，污泥脱水后外运。

图 4.5 污水处理厂 A-A²/O 工艺流程图

Fig. 4.5 A-A²/O of process flow diagram about Li Jia Tuo sewage treatment plant

1) 粗格栅

数量 1 台，栅宽 960mm、栅条净距 50mm、安装角度 77°、功率 2.2kw。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

2) 进水泵房

内设引进的带预旋转系统不堵塞型潜水泵 3 台，2 用 1 备，单台流量为 1450m³/h，扬程 12m，单机功率 75kw。用于将污水提升至格栅进行后续处理。

3) 细格栅

细格栅 2 台，栅条净距 15mm、每台栅宽 1.34m、安装角度 75°，单机功率 1.5kw。

用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

4) 生物处理 A 段

a. 曝气沉砂池

设有二条廊道，每条长 52.8m，宽 2m，水力停留时间 14min。每池池底一侧设有管式微孔曝气器 144 个，供气量 170m³/h。在污水进入生物池之前，去除比较大的无机颗粒。

b. 厌氧池

设在曝气沉砂池旁边，水力停留时间 1.89h，池内设立式搅拌器 1 台，叶片直径 2.3m，转速 32r/min。单机功率 2.2kw。接纳中间沉淀池的污泥及曝气沉砂池池的浮渣。

c. 曝气池

设在曝气沉砂池后部，两座池子，水力停留时间 25min，池中安装曝气头，供气量 1478m³/h。利用活性污泥法进行污水处理。

d. 中间沉淀池

数量 2 座，池径 28m，有效水深 2.45m，沉淀时间 1.04h，表面负荷 2.6m³/m²·h。使水中的 BOD 更多的留在 B 段，满足 B 段脱氮除磷对碳源的需求。

e. A 段回流污泥泵房

数量 3 台，2 用 1 备，每台泵流量 1000m³/h，扬程 3.61m，功率 27kw，2 台剩余污泥泵(一台备用)，每台流量 65m³/h，扬程 10m，功率 4kw。将中间沉淀池的污泥回流到 A 段曝气池。

5) 生物处理 B 段

a. 生物池

数量 2 组，每组池分四部分，第一部分为调节池，中间沉淀池出水的 10%及除磷工段出水进入该调节池，中间沉淀池出水的 90%进入第二部分厌氧段，再进入第三部分缺氧段，最后进入第四部分好氧段。每个调节池中设有一个水平推动搅拌器，转速 24r/min；每组厌氧池分 2 格，各设一个搅拌器，转速 24r/min。每组缺氧池分四格，设四个水平推动搅拌器，两组共设 8 个，转速 34r/min。生物池出水渠道上安装了混合液回流泵 2 台，1 组 1 台，每台流量 4300-2875m³/h，扬程 0.8-1.0m，功率 125kw。进行缺氧、厌氧和好氧的生物反应。

b. B 段回流污泥泵房

泵房内设 3 台回流污泥泵，为立式离心潜水泵(两用一备)，流量 1450m³/h，扬程 3.67m，功率 30kw，另设 2 台剩余污泥泵，为立式离心潜水泵，流量 65m³/h，扬程 10m，单机功率 7.5kw，一用一备。最终沉淀池的污泥回流到 B 段生物池。

c.鼓风机房

数量 3 台，风量 4000m³/h，风压 160.6kPa，功率 90kw。为 A 段曝气池和 B 段生物池供应风量。

d.最终沉淀池

数量 3 座，池径 42m，有效水深 3.5m，沉淀时间 5.03h，表面负荷 0.74m³/m²·h。污泥分离，使混合液澄清、浓缩和回流活性污泥。

6) 污泥处理工段

消化池进泥泵 2 台，功率 2.2kw，扬程 10m，流量 18m³/h；将浓缩池中的污泥均匀送到消化池；

污泥循环泵 1 台，功率 4kw，扬程 7m，流量 90m³/h；

消化池排泥泵 2 台，功率 15kw，扬程 20m，流量 90m³/h；当消化池检修时，开启排泥泵排空；

带式脱水机 2 台，功率 5.5kw。进行污泥脱水，降低污泥含水率。

7) 磷沉淀工段

提升泵数量 2 台，流量 100m³/h，扬程 6.5m，功率 5.5kw。

8) 回用水泵房

数量 2 台，流量 1100m³/h，扬程 6.5m，功率 125kw。

9) 回用水加压泵房

数量 3 台，流量 450m³/h，扬程 42m，功率 75kw。

10)加药间

数量 3 台，量程 1-20kgCl₂/h，加氯量为 10-20mg/L。

⑤李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5

工艺流程由三部分组成：第一部分为机械处理，污水经进水泵站提升至厂区，再经格栅间、曝气沉砂池、计量间后入分配井；第二部分为生化处理，污水经分配井后入氧化沟，沟内设水平式曝气转刷，污水在氧化沟内交替进行曝气和沉淀，经溢流堰汇入集水池，再经接触消毒池出水；第三部分为污泥处理，污水和污泥混合液从氧化沟中经污泥泵站抽升入浓缩池、均质池、带式压滤机脱水间，脱水后的污泥由无轴螺旋输送机装入容器外运。

1) 进水泵站

离心泵 5 台，型号 12PWL-12，单台功率 55kw。用于将污水提升至格栅进行后续处理。

2) 格栅

数量 4 台，单台功率 0.37kw，格栅间隙 21mm。用于去除截留到格栅上的固体垃圾。

3) 曝气沉砂池

池长 22m，分 2 格，每格有效容积 245m³，水力停留时间 11min；安装 3 台鼓风机，2 用 1 备，单机风量 320m³/h，压力 6m 水柱，功率 11kw。在污水进入生物池之前，去除比重较大的无机颗粒。

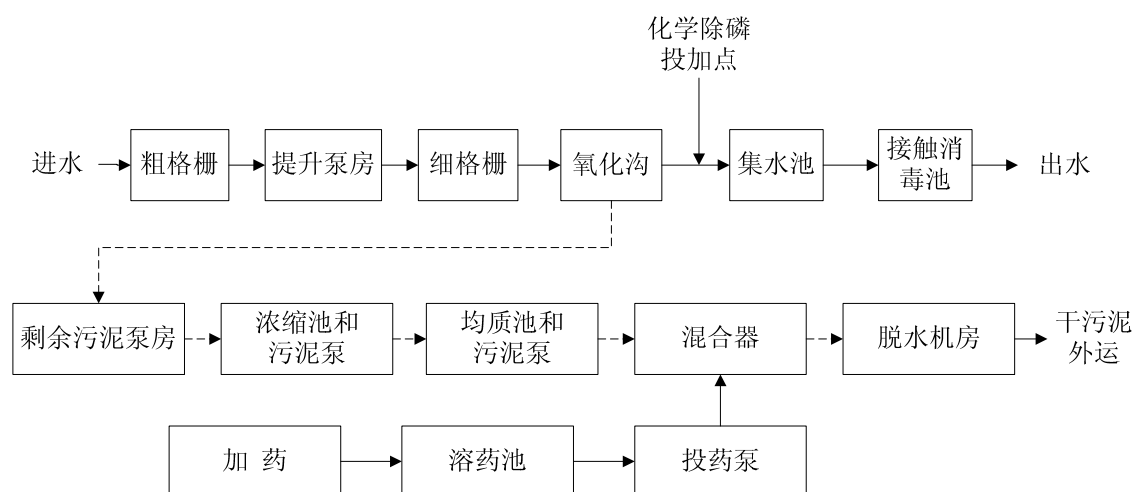


图 4.6 污水处理厂 T 型氧化沟工艺流程图

Fig. 4.6 Oxidation ditch of process flow diagram about Li Jia Tuo sewage treatment plant

4) 电磁流量计

数量 2 台，直径 500mm，单台流量计测量范围 300-2000m³/h，功率 0.5kw。

5) 氧化沟

数量 2 组 T 型氧化沟，由 3 条同体积的沟槽串联，装水平转刷曝气器 28 个，每个曝气器转速 72r/min，功率 45kw，充氧能力 74kgO₂/h。进行缺氧、厌氧和好氧的生物反应。

6) 出水泵

数量 4 台轴流泵，单台泵流量 860kw，单机功率 110kw。

7) 剩余污泥泵房

4 台污泥泵，2 用 2 备，单台流量 100m³/h，功率 3.1kw。

8) 污泥浓缩池

经浓缩后，污泥浓度由 4kg/m³浓缩至 40kg/m³。

9) 污泥脱水间

2 台带式压滤机，单台处理能力 12-15m³/h，功率 2.5kw。进行污泥脱水，降低污泥含水率。

4.2.2 李家沱污水处理厂建设阶段

①施工阶段资源和能源消耗

污水处理厂建设阶段的资源消耗主要是钢材、混凝土等建筑材料，能源消耗主要是施工过程中电的消耗。通过对李家沱污水处理厂设计资料的分析和水厂的实地调研，得到李家沱污水处理厂各个工艺建设阶段的资源和能源消耗如表 4.3 所示。

表 4.3 李家沱污水处理厂建设阶段资源和能源消耗清单

Table4.3 The Consumption of energy and resource of Lia Jia Tuo

sewage treatment plant in construction stage			
名称	钢材(t)	混凝土(m ³)	电能(kwh)
W1	933.8	6670	41715.2
W2	980.5	7003.3	43801.4
W3	1153.6	8240	51534
W4	966.6	6904	43180.4
W5	1508.08	10772	67370

②原材料生产阶段消耗和环境释放清单

由于污水处理厂建设阶段所耗建材在其生产过程中也会消耗资源和能源物质，产生废气、废水和固体废弃物等环境污染物质，因此，本文对建材生产阶段的数据进行了收集和分析。结合国内外现有的生命周期评价结果和《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》的相关部分成果得到各种建材在其生产过程中的主要资源和能源消耗，如表 4.4 所示，大气污染物排放如表 4.5 所示，水体污染物和固体废弃物排放如表 4.6 所示。

表 4.4 李家沱污水处理厂各种原材料生产阶段能源和资源消耗

Table4.4 The Consumption of raw materials of Li Jia Tuo sewage

treatment plant in construction stage										
污水处理 工艺	W1		W2		W3		W4		W5	
	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)	混凝土 (m ³)	钢材 (t)
消耗物质	6670	933.8	7003.3	980.5	8240	1153.6	6904	966.6	10772	1508.08
电能(kwh)	8255	3004950	8668	3154950	10198	3712871	8545	3110396	13317	4852723
煤(t)	3.335	1214	3.502	1274.6	4.120	1500	3.452	1256.6	5.386	1960.5
水(t)	1267.3	5603	1330.63	5883	1565.6	6922	1311.76	7540	2046.7	9048

表 4.5 李家沱污水处理厂各种原材料生产阶段大气污染物排放

Table 4.5 The production of raw materials of Li Jia Tuo sewage treatment plant

releasing the pollution of gas

污水处理工艺	排放污染物名称	CO ₂	CH ₄	CO	NO _x	SO ₂	TSP
		(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)
W1	混凝土	2412	27.35	26.68	10.67	8.67	21.34
	钢材	7657.16	16.81	102.72	14.94	47.62	275.47
	电能	3224	7.83	4.67	19.46	29.92	6.09
W2	混凝土	2532	28.71	28.01	11.20	9.10	22.41
	钢材	8040.1	17.65	107.86	15.69	50.00	290.00
	电能	3385	8.22	4.90	20.44	31.41	6.39
W3	混凝土	2980	33.78	32.96	13.18	10.71	26.37
	钢材	9460	20.76	126.90	18.46	58.83	340.31
	电能	3984	9.68	5.77	24.05	36.97	7.52
W4	混凝土	2496	28.31	27.62	11.05	8.98	22.09
	钢材	7926	17.40	106.33	15.46	49.30	285.15
	电能	3337	8.11	4.83	20.15	30.97	6.30
W5	混凝土	3895	44.16	43.09	17.24	14.00	34.47
	钢材	12366	27.14	165.89	24.13	76.91	444.88
	电能	5207	12.65	7.54	31.43	48.32	9.83

表 4.6 李家沱污水处理厂各种原材料生产阶段水污染和固体废弃物排放

Table 4.6 The production of raw materials of Li Jia Tuo sewage treatment

Plant releasing the liquid and solid

污水处理工艺	排放污染物名称	COD	SS	固体废弃物
		(t)	(t)	(t)
W1	混凝土	3.34	106.72	16.68
	钢材	0.02	0.5	4529
W2	混凝土	3.50	112.05	17.51
	钢材	0.02	0.53	4755
W3	混凝土	4.12	131.84	20.60
	钢材	0.03	0.62	5595

污水处理工艺	排放污染物	COD	SS	固体废弃物
	名称	(t)	(t)	(t)
W4	混凝土	3.45	110.64	17.26
	钢材	0.02	0.52	4688
W5	混凝土	5.39	172.35	26.93
	钢材	0.03	0.81	7314

③原材料运输阶段消耗和排放清单

由于机动车辆在运输过程中会产生尾气排放和二次扬尘，因此，本研究结合各种建材的运输距离对建材的道路运输阶段的资源消耗和环境释放进行了分析和计算。中型货车每百公里油耗 22.0L，轻型货车每百公里油耗 16.4L。得到原材料在运输阶段的资源消耗如表 4.7 所示。

表 4.7 李家沱污水处理厂各种工艺原材料运输情况表

Table4.7 The transportation of raw materials of Li Jia Tuo sewage treatment plant

污水厂工 艺名称	内容 原材料	车型	燃油 种类	载重量	运输 距离	总运输 距离	油耗
W1	钢材	中型货车	汽油	8t	20km	2334.5km	513.6L
	混凝土	轻型货车	汽油	10m ³	15km	10005km	1640.8L
W2	钢材	中型货车	汽油	8t	20km	2452km	540.0L
	混凝土	轻型货车	汽油	10m ³	15km	10505km	1723L
W3	钢材	中型货车	汽油	8t	20km	2884	635.0L
	混凝土	轻型货车	汽油	10m ³	15km	12360km	2027L
W4	钢材	中型货车	汽油	8t	20km	2417km	532L
	混凝土	轻型货车	汽油	10m ³	15km	10356km	1699.0L
W5	钢材	中型货车	汽油	8t	20km	3770km	829.4L
	混凝土	轻型货车	汽油	10m ³	15km	16158km	2650L

表 4.8 成品油生产过程的环境释放清单单位: kg/a

Table4.8 The production of refined oil of release polluted substance

内容 处理 工艺	原煤 消耗	原油 消耗	CO ₂	NO _x	CH ₄	CO	SO ₂
W1	103.4	2821.7	474	1.83	0.47	2.8	2.6
W2	108.6	2965	498	1.92	0.50	2.9	2.7
W3	127.8	3487	585.6	2.3	0.59	3.5	3.2
W4	107.1	2923	490.8	1.90	0.49	2.9	2.68
W5	167.0	4559	765.6	2.96	0.77	4.5	4.2
内容 处理 工艺	TSP	COD	SS	TN	TP	固废	
W1	3.8	1.3×10 ⁻²	1.3×10 ⁻²	3.9×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁴	16.74	
W2	4.0	1.4×10 ⁻²	1.4×10 ⁻²	4.1×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁴	17.58	
W3	4.7	1.6×10 ⁻²	1.6×10 ⁻²	4.8×10 ⁻³	1.4×10 ⁻⁴	20.68	
W4	3.9	1.4×10 ⁻²	1.4×10 ⁻²	4.0×10 ⁻³	1.2×10 ⁻⁴	17.33	
W5	6.1	2.1×10 ⁻²	2.1×10 ⁻²	6.3×10 ⁻³	1.9×10 ⁻⁴	27.04	

根据车辆的道路运输情况和各种车辆的道路排放因子,可以得到运输原材料所造成的环境释放清单如表 4.9 所示。

表 4.9 道路运输环境释放清单

Table4.9 The list of transportation release

污染物 种类 污水处理 工艺	CO ₂ (kg)	CO (kg)	CH ₄ (kg)	SO ₂ (kg)	NO _x (kg)	CH (kg)	TSP (kg)
W1	2590.5	509.8	0.74	4.31	34.1	98.7	0.26
W2	2707	532.7	0.77	4.53	35.6	103.1	0.27
W3	3185	626.7	0.90	5.32	41.9	121.3	0.32
W4	2669	525.1	0.77	4.46	35.1	101.7	0.27
W5	4163	819.2	1.20	6.96	54.8	158.6	0.42

综上所述，通过对李家沱污水处理厂各个工艺建设阶段输入与输出数据的生命周期分析，可以得到，污水处理厂建设阶段的资源能源消耗和环境释放对每一功能单位的贡献量如表 4.10、4.11 所示。

表 4.10 李家沱污水处理厂各个工艺建设阶段数据输入清单

Table4.10 The input list of Li Jia Tuo sewage treatment plant of each process data in construction phase

污水处理工艺	电能(kwh)	混凝土(m³)	钢材(t)
W1	3054920.2	6670	933.8
W2	3207419.4	7003.3	980.5
W3	3774603	8240	1153.6
W4	3162121.4	6904	966.6
W5	4933410	10772	1508.08

表 4.11 李家沱污水处理厂各个工艺建设阶段数据输出清单

Table4.11 The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant of each process data in construction phase

排放物 处理 工艺	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	CO (t)	NO _x (t)	SO ₂ (t)	TSP (t)
W1	13296.22	51.99	134.58	45.10	86.22	302.90
W2	13960.30	54.58	141.30	47.37	90.52	318.80
W3	16427.77	64.22	166.26	55.73	106.52	374.20
W4	13759.76	53.82	139.31	46.70	89.26	313.54
W5	21472.93	83.95	217.34	72.86	139.24	489.19
排放物 处理 工艺	CH (t)	COD (t)	SS (t)	TN (t)	TP (t)	固废 (t)
W1	0.0987	3.36	107.22	3.9×10^{-6}	1.2×10^{-7}	4545.70
W2	0.1031	3.52	112.58	4.1×10^{-6}	1.2×10^{-7}	4772.53
W3	0.1213	4.15	132.46	4.8×10^{-6}	1.4×10^{-7}	5615.62
W4	0.1017	3.47	111.16	4.0×10^{-6}	1.2×10^{-7}	4705.28
W5	0.1586	5.42	173.16	6.3×10^{-6}	1.9×10^{-7}	7340.96

从表 4.10、4.11 可以看出，污水处理厂各个工艺建设阶段的电耗来自于施工阶段和原材料生产阶段的消耗，钢材和混凝土的消耗来源于施工阶段的消耗。污水处理厂各个工艺建设阶段所排放的大气污染物以 CO₂ 的排放量最大，主要来自建材生产和道路运输过程；水体污染物以 SS 的排放量最大，主要来自钢材和混凝土的生产过程；固体废弃物来源于钢材和混凝土的生产过程。所以，钢材和混凝土的生产过程是污水处理厂建设阶段资源能源消耗和环境释放的主要来源。

4.2.3 李家沱污水处理厂运行阶段

①消耗清单数据

1)油耗：

油的消耗主要是运行期间的各种废弃物在运输过程中的消耗，废弃物运输到长生桥垃圾填埋场。经过对污水处理厂的现场调研，结合各种运输车辆每百公里的油耗量，得到材料的道路运输情况，见表 4.12。

表 4.12 李家沱污水处理厂运行阶段道路运输情况

Table4.12 Li Jia Tuo sewage treatment plant road transport operation stage								
	材料名称	量 t/a	运输车辆	燃油种类	载重量	运输距离	总运输距离	油耗 L
W1	剩余污泥	12720	中型货车	汽油	8t	22.4km	35616km	7835.52
	生活垃圾	31	轻型货车	汽油	4t	22.4km	173.6km	38.2
	栅渣	1420	轻型货车	汽油	4t	22.4km	8176km	1799
	沉砂	1250	轻型货车	汽油	4t	22.4km	7000km	1540
W2	剩余污泥	12720	中型货车	汽油	8t	22.4km	35616km	7835.52
	生活垃圾	31	轻型货车	汽油	4t	22.4km	173.6km	38.2
	栅渣	1420	轻型货车	汽油	4t	22.4km	8176km	1799
	沉砂	1250	轻型货车	汽油	4t	22.4km	7000km	1540
W3	剩余污泥	2153.5	中型货车	汽油	8t	22.4km	6030km	1326.6
	生活垃圾	31	轻型货车	汽油	4t	22.4km	173.6km	38.2
	栅渣	1420	轻型货车	汽油	4t	22.4km	8176km	1799
	沉砂	657	轻型货车	汽油	4t	22.4km	3679.2km	809.4
W4	剩余污泥	3840	中型货车	汽油	8t	22.4km	10752km	2365
	生活垃圾	31	轻型货车	汽油	4t	22.4km	173.6km	38.2
	栅渣	1420	轻型货车	汽油	4t	22.4km	8176km	1799
	沉砂	657	轻型货车	汽油	4t	22.4km	3679.2km	809.4
W5	剩余污泥	12720	中型货车	汽油	8t	22.4km	35616km	7835.52
	生活垃圾	31	轻型货车	汽油	4t	22.4km	173.6km	38.2
	栅渣	1420	轻型货车	汽油	4t	22.4km	8176km	1799
	沉砂	657	轻型货车	汽油	4t	22.4km	3679.2km	809.4

经计算可得,李家沱污水处理厂升级改造前 W1 消耗的汽油为 11.3t/a,李家沱污水处理厂升级改造后 W2 消耗的汽油为 11.3t/a,李家沱污水处理厂 A²/O 流程 W3 消耗的汽油为 3.97t/a,李家沱污水处理厂 A-A²/O 流程 W4 消耗的汽油为 5.01t/a,李家沱污水处理厂 T 型氧化沟流程 W5 消耗的汽油为 10.48t/a。

2)电耗:

污水处理厂厂区内的电能消耗主要是污水处理工艺设备正常运行时的电能消耗和厂区附属建筑物的日常生活电力消耗,具体工艺设备耗电情况见表 4.13

表 4.13 李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1 运行阶段电能消耗输入清单

Table 4.13 Li Jia Tuo Sewage treatment plant up grading stage W1

operation energy consumption input list

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
粗格栅间	粗格栅机	2	1.85	3.7	5.9
	无轴螺旋输送机	1	2.2	2.2	
提升泵房	潜水提升泵	4	30	120	721.2
	电动葫芦	1	3.2	3.2	
	新村提升泵	4	75	300	
		4	45	180	
	土桥提升泵	4	18.5	74	
		4	11	44	
细格栅间	细格栅机	5	1.5	7.5	11.9
	无轴螺旋输送机	2	2.2	4.4	
旋流沉砂池	三叶罗茨鼓风机	2	4	8	10.57
	旋流沉砂器	2	1.1	2.2	
	砂水分离器	1	0.37	0.37	
生物选择器	潜水搅拌机	2	4	8	8
CAST 生物池	潜水回流泵	2	5.5	11	553.2
	潜水搅拌机	16	2.2	35.2	
	滗水器	16	1.5	24	
	潜水剩余泵	14	4	56	
	HV-TORB 鼓风机	2	132	264	
	重庆通用鼓风机	1	160	160	
	管道离心泵	2	1.5	3	

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
污泥脱水间	空压机	2	1.5	3	55.9
	冲洗泵	2	11	22	
	带式浓缩 脱水机	2	浓缩段 1.5	3	
		2	压滤段 2.2	4.4	
	进泥偏心螺杆泵	2	11	22	
	自动加药计量泵	2	0.75	1.5	
总计					1366.67

表 4.14 李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2 运行阶段电能消耗输入清单

Table4.14 Li Jia Tuo sewage treatment plant upgraded stage W2

operation energy consumption inputlist

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
粗格栅间	粗格栅机	2	1.85	3.7	5.9
	无轴螺旋输送机	1	2.2	2.2	
提升泵房	潜水提升泵	4	30	120	721.2
	电动葫芦	1	3.2	3.2	
	新村提升泵	4	75	300	
		4	45	180	
	土桥提升泵	4	18.5	74	
		4	11	44	
细格栅间	细格栅机	5	1.5	7.5	11.9
	无轴螺旋输送机	2	2.2	4.4	
旋流沉砂池	三叶罗茨鼓风机	2	4	8	10.57
	旋流沉砂器	2	1.1	2.2	
	砂水分离器	1	0.37	0.37	
生物选择器	潜水搅拌机	2	4	8	8
CAST 生物池	潜水回流泵	2	5.5	11	553.2
	潜水搅拌机	16	2.2	35.2	
	滗水器	16	1.5	24	
	潜水剩余泵	14	4	56	
	HV-TORB 鼓风机	2	132	264	
	重庆通用鼓风机	1	160	160	
	管道离心泵	2	1.5	3	

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
污泥脱水间	空压机	2	1.5	3	55.9
	冲洗泵	2	11	22	
	带式浓缩	2	浓缩段 1.5	3	
	脱水机	2	压滤段 2.2	4.4	
	进泥偏心螺杆泵	2	11	22	
	自动加药计量泵	2	0.75	1.5	
高速纤维 滤池	提升水泵	4	18.5	74	120.5
	反洗风机	3	15	45	
	潜水排污泵	2	0.75	1.5	
总计					1487.17

表 4.15 李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段电能消耗输入清单

Table4.15 Li Jia Tuo sewage treatment plant A²/O W3 operation energy consumption input list

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
粗格栅间	粗格栅机	2	2.2	4.4	4.4
提升泵房	泵-1	4	45	180	808
	泵-2	1	30	30	
	新村提升泵	4	75	300	
		4	45	180	
	土桥提升泵	4	18.5	74	
		4	11	44	
细格栅间	细格栅机	2	1.5	3	3
鼓风机房	鼓风机	3	360	1080	1080
脱水机房	污泥离心脱水机	2	22	44	44
总计					1939.4

表 4.16 李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段电能消耗输入清单

Table4.16 Li Jia Tuo sewage treatment plant A-A²/O W4 operation energy consumption input list

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
粗格栅间	粗格栅机	1	2.2	2.2	2.2
提升泵房	潜水泵	3	75	225	823
	新村提升泵	4	75	300	
		4	45	180	
	土桥提升泵	4	18.5	74	

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
		4	11	44	
细格栅间	细格栅机	2	1.5	3	3
立式搅拌机	立式搅拌机	13	2.2	28.6	28.6
A 段污泥 回流泵房	回流泵	3	27	81	89
		2	4	8	
B 段生物池 回流泵	回流泵	2	125	250	250
B 段回流 污泥泵房	污泥泵	3	30	90	105
		2	7.5	15	
鼓风机房	鼓风机	3	90	270	270
消化池进泥泵	污泥泵	2	2.2	4.4	4.4
污泥循环泵	污泥泵	1	4	4	4
消化池排泥泵	排泥泵	2	15	30	30
带式脱水机	脱水机	2	5.5	11	11
磷沉淀工段 提升泵	提升泵	2	5.5	11	11
回用水泵房	回用水泵	2	125	250	250
回用水 加压泵房	回用水 加压泵	3	75	225	225
总计					2106.2

表 4.17 李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 电能消耗输入清单

Table4.17 Li Jia Tuo sewage treatment plant oxidation ditch W5

operation energy consumption input list

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
格栅间	格栅机	4	0.37	1.48	1.48
提升泵房	离心泵	5	55	275	873
	新村提升泵	4	75	300	
		4	45	180	
	土桥提升泵	4	18.5	74	
		4	11	44	
曝气沉砂池	鼓风机	3	11	33	33
电磁流量计	电磁流量计	2	0.5	1	1

工艺名称	配套设施	数量	功率(kw)	合计(kw)	总计/kw
氧化沟	曝气器	20	45	900	900
出水泵房	出水泵	4	110	440	440
剩余污泥泵	污泥泵	4	3.1	12.4	12.4
污泥脱水间	带式压滤机	2	2.5	5	5
总计					2265.88

李家沱污水处理厂升级改造前 W1 工艺运行阶段年耗电量为 11972029.2kwh/a；李家沱污水处理厂升级改造后 W2 工艺运行阶段年耗电量为 13027609.2kwh/a；李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段年耗电量为 17355312kwh/a；李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段年耗电量为 18450312kwh/a；李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运行阶段年耗电量为 19849109kwh/a。

3)药耗

污水处理厂运营过程中所消耗的药剂主要是液氯和絮凝剂，根据对李家沱污水处理厂的实地调研，2013 年 7 月、9 月、10 月、11 月消耗液氯分别为 2.5kg/km³、3.5kg/km³、2.9kg/km³、3.4kg/km³；絮凝剂分别为 0.8kg/t、0.9kg/t、0.8kg/t、0.7kg/t，取最大值则李家沱污水处理厂升级改造前 W1 工艺运行阶段液氯消耗为 3.5kg/km³、絮凝剂消耗为 0.9kg/t；李家沱污水处理厂升级改造后 W2 运行阶段所消耗的药剂主要是液氯和絮凝剂，液氯为 3.5kg/km³；絮凝剂为 0.9kg/t；李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段中所消耗的药剂是絮凝剂、液氯和 FeSO₄，经计算分别为 5.367t/a、91.25t/a 和 437.1t/a。李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段所消耗的药剂包括液氯、絮凝剂和 FeSO₄，经计算液氯为 219t/a，絮凝剂为 3.01t/a、FeSO₄ 为 78.3t/a；李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运行阶段所消耗的药剂包括液氯、絮凝剂和 FeSO₄，经计算液氯为 219t/a，絮凝剂为 3.01t/a，FeSO₄ 为 98.25t/a。

4)水耗

污水处理厂所消耗的新鲜水，主要日常用水是生活水和药剂混合水，对李家沱污水处理厂现有工艺 W1 运行阶段进行调研计算出日耗新鲜水 12t，即 4380t/a；李家沱污水处理厂升级改造后 W2 运行阶段工艺日耗新鲜水与升级改造前 W1 运行阶段工艺一致为 12t，即 4380t/a；李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段日耗新鲜水 12t，即 4380t/a；李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段日耗新鲜水 12t，即 4380t/a；李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运行阶段日耗新鲜水 12t，即 4380t/a。

综上所述，李家沱污水处理厂各个工艺运行阶段各种资源和能源消耗如表 4.18 所示。

表 4.18 李家沱污水处理厂各工艺运行阶段资源和能源消耗清单

Table 4.18 The list of Li Jia Tuo sewage treatment plant each process stage

of consumption of resources and energy						
材料 消耗量	电能 (kwh/a)	水 (t/a)	油 (t/a)	液氯 (t/a)	絮凝剂 (t/a)	FeSO ₄ (t/a)
W1	11972029.2	4380	11.3	51.1	13.140	
W2	13027609.2	4380	11.3	51.1	13.140	
W3	17355312	4380	3.97	91.25	5.367	437.1
W4	18450312	4380	5.01	219	3.01	78.3
W5	19849109	4380	10.48	219	3.01	98.25

从表 4.18 中可以看出,李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1 运行阶段耗电 11972029.2kwh/a, 主要是工艺设备的耗电。其中,提升泵房和鼓风机房的耗电量最大,提升泵房耗电 1051200kwh/a,鼓风机房的耗电 3714240kwh/a。日常生活用水和药剂混合用水 4380t/a,固体废弃物在运输过程中消耗的燃油 11.3t/a;李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2 运行阶段耗电 13027609.2kwh/a, 主要是工艺设备的耗电。其中,增加的高速纤维滤池耗电量为 1055580kwh/a,提升泵房和鼓风机房的耗电量最大,提升泵房耗电 6317712kwh/a,鼓风机房的耗电 3714240kwh/a。日常生活用水和药剂混合用水 4380t/a,固体废弃物在运输过程中消耗的燃油 11.3t/a;李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段耗电 17355312kwh/a, 主要是工艺设备的耗电。其中,提升泵房和鼓风机房的耗电量最大,提升泵房耗电 7078080kwh/a,鼓风机房的耗电 9460800kwh/a。日常生活用水和药剂混合用水 4380t/a,固体废弃物在运输过程中消耗的燃油 3.97t/a;李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段耗电 18450312kwh/a, 主要是工艺设备的耗电。其中,提升泵房耗电量最大,提升泵房耗电 7209480kwh/a。日常生活用水和药剂混合用水 4380t/a,固体废弃物在运输过程中消耗的燃油 5.01t/a;李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运行阶段耗电 19849109kwh/a, 主要是工艺设备的耗电。其中,提升泵房和氧化沟的曝气器的耗电量最大,提升泵房耗电 7647480kwh/a,鼓风机房的耗电 7884000kwh/a。日常生活用水和药剂混合用水 4380t/a,固体废弃物在运输过程中消耗的燃油 10.48t/a。

③排放清单数据

1)电的生产过程污染物排放

由于所耗电来自于电厂,本文以燃煤发电的火电厂为例,根据国内外现有的燃煤

发电的生命周期评价结果，得到李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1 运营阶段所耗标煤为 4836.7t/a、李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2 运营阶段所耗标煤为 5263t/a、李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运营阶段所耗标煤为 7012t/a、李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运营阶段所耗标煤为 7454t/a、李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运营阶段所耗标煤为 8019.0t/a（1kwh=0.404kg 标煤）。各种污染物排放如表 4.19 所示。

表 4.19 电的生产过程污染物排放量

Table4.19 The production process of electricity release

污染物 工艺	CO ₂ 排放量(t/a)	CH ₄ 排放量(t/a)	SO ₂ 排放量(t/a)	NO _x 排放量(t/a)	TSP 排放量(t/a)	CO 排放量(t/a)
W1	12810	31.15	118.83	77.3	241.8	18.6
W2	13962.9	33.95	129.5	84.3	263.6	20.3
W3	18571	45.15	172.2	112.1	350.6	27
W4	19742	47.86	182.53	118.83	371.64	28.62
W5	21321.36	51.69	197.13	128.34	401.37	30.91
污染物 工艺	COD 排放量(t/a)	SS 排放量(t/a)	TN 排放量(t/a)	TP 排放量(t/a)	固废 排放量(t/a)	
W1	0.38	0.29	0.048	0.038	1508.4	
W2	0.41	0.31	0.05	0.04	1644.2	
W3	0.55	0.41	0.07	0.05	2186.8	
W4	0.58	0.43	0.074	0.053	2318	
W5	0.63	0.46	0.080	0.057	2503.4	

由表 4.10 可得，李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1 运营阶段所耗电能在其生产过程中对 CO₂ 的排放量最大为 12810t/a；李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2 运营阶段所耗电能在其生产过程中对 CO₂ 的排放量最大为 13962.9t/a；李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运营阶段所耗电能在其生产过程中对 CO₂ 的排放量最大为 18571t/a；李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运营阶段所耗电能在其生产过程中对 CO₂ 的排放量最大为 19742t/a；李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运营阶段所耗电能在其生产过程中对 CO₂ 的排放量最大为 21312.36t/a。这主要是由煤的燃烧和缺乏对烟气中 CO₂ 的控制引起的。

2)燃油污染物排放

根据各种运输车辆的道路排放因子可以得到，李家沱污水处理厂各工艺运营阶段运输过程所造成的环境释放清单如表 4.20 所示。

表 4.20 道路运输环境释放清单

Table 4.20 The list of transportation release

污染物 工艺	CO ₂ (kg/a)	CO (kg/a)	CH ₄ (kg/a)	SO ₂ (kg/a)	NO _x (kg/a)	CH (kg/a)	烟尘 (kg/a)
汽油排放因子	208.92	41.11	0.06	2.0	2.75	7.96	0.12
W1	10648	2095.2	3.06	22.6	140.2	406	6.12
W2	10648	2095.2	3.06	22.6	140.2	406	6.12
W3	3773	742.4	1.08	36.12	49.66	143.75	2.17
W4	4759	937	1.37	45.56	62.65	181.34	2.73
W5	11500	2263	3.30	24.41	151.42	438.48	6.61

注：CO₂、CO、CH₄、NO_x、CH 为单位里程排放因子单位 g/km，SO₂、烟尘为单位燃料排放因子，单位 g/kg。

结合国内外有关成品油的生命周期评价结果，可以得到污水处理厂各工艺运行阶段所消耗的成品油在生产过程中的各种环境释放如表 4.21 所示。

表 4.21 成品油生产过程的环境释放清单单位：kg/a

Table 4.21 The production of refined oil of release polluted substance

污染物 工艺	原煤 消耗(kg/a)	原油 消耗(kg/a)	CO ₂ (kg/a)	NO _x (kg/a)	CH ₄ (kg/a)	CO (kg/a)	SO ₂ (kg/a)
W1	537	14803	2484	9.6	2.457	1.512	13.23
W2	537	14803	2484	9.6	2.457	1.512	13.23
W3	187.95	5181.05	869.4	3.35	0.86	0.53	4.63
W4	236.82	6528	1095	4.22	1.08	0.67	5.83
W5	580	15987	2683	10.4	2.65	1.63	14.29
污染物 工艺	粉尘 (kg/a)	COD (kg/a)	SS (kg/a)	TN (kg/a)	TP (kg/a)	固废 (kg/a)	
W1	19.764	6.885×10 ⁻²	6.885×10 ⁻²	20.3×10 ⁻³	6.156×10 ⁻⁴	87.75	
W2	19.764	6.885×10 ⁻²	6.885×10 ⁻²	20.3×10 ⁻³	6.156×10 ⁻⁴	87.75	
W3	6.92	2.41×10 ⁻²	2.41×10 ⁻²	7.11×10 ⁻³	2.15×10 ⁻⁴	30.71	
W4	8.72	3.04×10 ⁻²	3.04×10 ⁻²	8.96×10 ⁻³	2.71×10 ⁻⁴	38.69	
W5	21.34	7.44×10 ⁻²	7.44×10 ⁻²	21.92×10 ⁻³	6.65×10 ⁻⁴	94.77	

3) 药剂生产过程污染物排放清单

结合国内外有关药剂生产过程的生命周期评价结果，可以得到污水处理厂各工艺运行阶段所消耗的药剂在生产过程中的各种环境释放如表 4.22、4.23 所示。

表 4.22 液氯的生产过程污染物排放量

Table 4.22 The production process pollutant emissions quantities of liquid chlorine

污染物 工艺	CO ₂ (t/a)	CH ₄ (t/a)	SO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	TSP (t/a)	CO (t/a)
W1	4.930	0.011988	0.045732	0.029748	0.093	0.07
W2	4.930	0.011988	0.045732	0.029748	0.093	0.07
W3	8.82	0.02	0.08	0.05	0.166	0.12
W4	21.72	0.053	0.2	0.13	0.41	0.3
W5	21.72	0.053	0.2	0.13	0.41	0.3
污染物 工艺	COD (t/a)	SS (t/a)	TN (t/a)	TP (t/a)	固废 (t/a)	
W1	0.000148	0.000111	0.0000185	0.0000148	0.58	
W2	0.000148	0.000111	0.0000185	0.0000148	0.58	
W3	0.000265	0.000199	0.0000331	0.0000265	1.04	
W4	0.000638	0.000473	0.00008	0.000058	580.53	
W5	0.000638	0.000473	0.00008	0.000058	580.53	

表 4.23 絮凝剂的生产过程污染物排放量

Table 4.23 The production process pollutant emissions flocculant

污染物 工艺	CO ₂ (t/a)	CH ₄ (t/a)	SO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	TSP (t/a)	CO (t/a)
W1	103.9	0.25	0.96	0.63	1.96	0.15
W2	103.9	0.25	0.96	0.63	1.96	0.15
W3	42.60	0.10	0.39	0.26	0.80	0.06
W4	23.8	0.06	0.22	0.14	0.45	0.03
W5	23.8	0.06	0.22	0.14	0.45	0.03
污染物 工艺	COD (t/a)	SS (t/a)	TN (t/a)	TP (t/a)	固废 (t/a)	
W1	0.00312	0.00234	0.00039	0.00031	12.23	
W2	0.00312	0.00234	0.00039	0.00031	12.23	
W3	0.00128	0.00096	0.00016	0.00013	5.01	
W4	0.00072	0.00054	0.00009	0.00007	2.80	
W5	0.00072	0.00054	0.00009	0.00007	2.80	

表 4.24 FeSO₄ 的生产过程污染物排放量Table 4.24 The production process pollutant emissions of FeSO₄

污染物 工艺	CO ₂ (t/a)	CH ₄ (t/a)	SO ₂ (t/a)	NO _x (t/a)	TSP (t/a)	CO (t/a)	COD (t/a)
W1	-	-	-	-	-	-	-
W2	-	-	-	-	-	-	-
W3	3584.22	7.87	22.29	6.99	128.94	48.08	0.12
W4	642.06	1.41	3.99	1.25	23.10	8.61	0.02
W5	805.65	1.77	5.01	1.57	28.98	10.81	0.03

4) 工艺过程环境排放

废水

a. 李家沱污水厂升级改造前过程

根据对污水厂的实地调研，在李家沱污水处理厂的工作人员帮助下完成了对该水厂进出水水质的监测，具体水质情况如表 4.24 所示。

表 4.25 李家沱污水处理厂升级改造前过程进出水水质清单单位 mg/L

Table 4.25 The list of upgraded process of Li Jia Tuo water sewage

treatment plant influent and effluent							
	时间	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
进水	2014.1.26	313	127	338	49	18.6	11.50
	2014.1.27	205	99	118	30.9	16.6	4.41
	2014.1.28	201	86	109	35.9	17.6	3.26
	2014.1.29	252	115	106	37.0	19.1	3.36
	2014.1.30	263	145	107	35.0	21.7	3.98
	2014.1.31	263	70	202	34.1	21.2	8.42
	2014.2.1	201	79	198	24.2	15.0	4.97
	2014.2.2	210	101	211	23.8	15.2	5.03
	2014.2.3	237	116	174	29.0	17.7	3.64
	2014.2.4	228	109	236	30.2	16.7	4.02
水质	2014.2.5	239	115	220	32.4	19.3	5.11
	2014.2.6	214	107	244	28.7	15.7	6.66
	2014.2.7	236	119	227	32.2	17.0	5.51
	2014.2.8	227	106	216	37.0	20.8	5.26
	2014.2.9	236	112	216	32.0	20.8	5.97
	2014.2.10	220	109	224	34.4	20.0	3.44

进水	时间	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
	2014.2.11	232	112	172	27.6	21.0	4.80
	2014.2.12	222	108	696	46.6	35.4	12.40
	2014.2.13	603	295	192	32.5	21.5	5.92
	2014.2.14	267	125	240	32.3	20.0	3.86
	2014.2.15	235	119	211	33.0	20.3	4.42
	2014.2.16	211	98	201	33.1	20.2	4.47
	2014.2.17	266	130	196	29.6	20.4	2.52
	2014.2.18	286	138	240	40.5	27.0	6.37
	2014.2.19	288	129	195	38.8	25.9	4.94
	2014.2.20	296	130	260	45.1	27.7	13.60
	2014.2.21	546	231	375	39.4	27.6	6.66
	2014.2.22	288	168	260	37.1	27.0	12.70
	2014.2.23	269	98	270	40.2	22.9	6.36
	2014.2.24	505	107	445	68.8	42.0	28.40
	2014.2.25	384	136	271	34.2	27.3	3.24
	平均值	277	123	246	35.7	21.9	6.6

出水	时间	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
	2014.1.26	24.3	3.6	4.0	13.0	0.20	0.92
	2014.1.27	16.5	3.1	4.0	13.1	0.20	0.98
	2014.1.28	26.5	3.5	4.0	13.3	2.41	0.89
	2014.1.29	27.1	2.7	6.0	12.9	1.19	0.93
	2014.1.30	27.0	2.8	4.0	13.6	1.96	0.84
	2014.1.31	25.1	3.1	4.0	10.80	0.20	1.25
	2014.2.1	23.1	2.6	4.0	10.00	0.20	0.84
	2014.2.2	24.6	4.5	4.0	9.59	0.20	1.19
	2014.2.3	26.4	3.5	6.0	10.9	1.35	1.39
	2014.2.4	25.1	3.4	10.0	14.7	0.20	1.42
	2014.2.5	25.4	3.8	14.0	14.4	0.20	1.37
	2014.2.6	25.0	4.1	9.0	14.2	0.20	1.28
	2014.2.7	26.3	4.5	10.0	13.9	0.20	1.24
	2014.2.8	25.5	4.0	8.0	14.4	0.68	1.26
	2014.2.9	18.1	3.6	6.0	12.3	4.34	1.28
	2014.2.10	26.5	3.5	8.0	12.50	3.21	1.24
	2014.2.11	28.5	3.4	5.0	14.8	2.25	1.26

出水	时间	COD	BOD ₅	SS	TN	NH ₃ -N	TP
	2014.2.12	29.1	4.1	8.0	14.6	1.70	1.25
	2014.2.13	33.1	4.7	5.0	14.5	1.81	1.22
	2014.2.14	28.2	3.9	5.0	14.2	0.80	1.11
	2014.2.15	31.7	4.4	5.0	16.1	0.66	1.11
	2014.2.16	30.1	3.8	5.0	15.4	0.56	1.10
	2014.2.17	29.1	3.6	5.0	15.7	6.50	1.29
	2014.2.18	30.6	3.8	5.0	14.8	0.20	1.40
	2014.2.19	33.7	5.2	4.0	15.9	0.20	1.41
	2014.2.20	20.2	4.7	13.0	13.7	2.16	1.28
	2014.2.21	26.7	5.0	9.0	14.4	2.04	0.79
	2014.2.22	29.1	4.9	5.0	13.3	1.89	1.37
	2014.2.23	32.3	3.1	10.0	14.9	1.16	1.24
	2014.2.24	32.4	3.5	9.0	16.8	7.32	1.23
	2014.2.25	19.6	3.7	10.0	13.3	1.27	0.89
	平均值	26.6	3.8	7.1	13.7	1.5	1.2

b. 李家沱污水厂升级改造后过程

根据由中南市政院所做的《重庆李家沱污水厂题标升级工程初步方案》，污水厂升级改造后出水水质如表 4.26。

表 4.26 李家沱污水厂升级改造后出水水质

Table4.26 Upgraded of the effluent quality of Li Jia Tuo sewage treatment plant							
项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	粪大肠杆菌 (个/L)
指标	50	10	10	15	5	0.5	<10 ³

c. 设计的 A²/O 工艺

表 4.27 A²/O 工艺出水水质[71]

Table4.27 The effluent quality of A/A/O							
项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)	粪大肠杆菌 (个/L)
指标	50	10	10	15	5	0.5	<10 ³

d. 设计的 A-A²/O 工艺

表 4.28 A-A²/O 工艺出水水质[25]

Table4.28 The effluent quality of A-A²/O

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
回用水 水质	≤50	≤10	≤10	≤10	≤5	≤1

TP 未到达一级排放 A 标，所以，通过化学投加除磷药剂，使得出水可以满足一级排放 A 标。如表 4.29 所示：

表 4.29 化学除磷后的 A-A²/O 工艺出水水质

Table4.29 The effluent quality of A-A²/O after chemical phosphorus removal

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
出水 水质	≤50	≤10	≤10	≤10	≤5	≤0.5

e. 设计的 T 型氧化沟

表 4.30 T 型氧化沟工艺出水水质^[25]

Table4.30 The effluent quality of oxidation ditch

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
出水 水质	19.5	5.3	5.5	8.9	4.1	2.2

TP 未到达一级排放 A 标，所以，通过化学投加除磷药剂，使得出水可以满足一级排放 A 标。如表 4.31 所示：

表 4.31 化学除磷后的 T 型氧化沟工艺出水水质

Table 4.31 The effluent quality of oxidation ditch after chemical phosphorus removal

项目	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	TN (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	TP (mg/L)
出水 水质	≤50	≤10	≤10	≤10	≤5	≤0.5

固体废弃物

污水处理厂各工艺在运营过程中所产生的固体废弃物主要是工作人员的生活垃圾、格栅间所产生的栅渣、旋流沉砂池的沉砂和污泥脱水间的剩余污泥。如表 4.32 所示。

表 4.32 固体废弃物产量

Table 4.32 The Solid waste output

工艺	污染源	污染物名称	产生量 t/a	处置方式	排放量 t/a
W1	工作人员	生活垃圾	31	卫生填埋	31
	预处理间	栅渣	1420	卫生填埋	1420
	旋流式沉砂池	沉砂	1250	卫生填埋	1250
	污泥脱水间	剩余污泥	12720	卫生填埋	12720
W2	工作人员	生活垃圾	31	卫生填埋	31
	预处理间	栅渣	1420	卫生填埋	1420
	旋流式沉砂池	沉砂	1250	卫生填埋	1250
	污泥脱水间	剩余污泥	12720	卫生填埋	12720
W3	工作人员	生活垃圾	31	卫生填埋	31
	预处理间	栅渣	1420	卫生填埋	1420
	旋流式沉砂池	沉砂	657	卫生填埋	657
	污泥脱水间	剩余污泥	2153.5	卫生填埋	2153.5
W4	工作人员	生活垃圾	31	卫生填埋	31
	预处理间	栅渣	1420	卫生填埋	1420
	旋流式沉砂池	沉砂	657	卫生填埋	657
	污泥脱水间	剩余污泥	3840	卫生填埋	3840
W5	工作人员	生活垃圾	31	卫生填埋	31
	预处理间	栅渣	1420	卫生填埋	1420
	旋流式沉砂池	沉砂	657	卫生填埋	657
	污泥脱水间	剩余污泥	12720	卫生填埋	12720

综上所述，污水处理厂各工艺资源能源消耗及环境释放清单如表 4.33 所示。

表 4.33(1) 李家沱污水处理厂升级改造前工艺 W1 运行阶段数据清单

Table 4.33(1) The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant
of upgrading process in operation stage

资源消耗						
煤耗	水耗	原油消耗	液氯	絮凝剂		
4837.24t/a	4380t/a	14.803t/a	51.1t/a	13.14t/a		
环境释放						
CO ₂	CH ₄	CO	NOx	SO ₂	TSP	CH
12932t/a	31.42t/a	21t/a	78.10t/a	119.9t/a	243.85t/a	0.406t/a
COD	TN	TP	SS	固废		
331.4t/a	200.01t/a	17.52t/a	142.93t/a	16942.3t/a		

表 4.33(2) 李家沱污水处理厂升级改造后工艺 W2 运行阶段数据清单

Table 4.33(2) The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant of
upgraded process in operation stage

资源消耗						
煤耗	水耗	原油消耗	液氯	絮凝剂		
5263.54t/a	4380t/a	14.803t/a	51.1t/a	13.14t/a		
环境释放						
CO ₂	CH ₄	CO	NOx	SO ₂	TSP	CH
14085t/a	34.21t/a	22.62t/a	85.10t/a	130.54t/a	265.65t/a	0.406t/a
COD	TN	TP	SS	固废		
331.4t/a	200.01t/a	7.3t/a	143.00t/a	17078.01t/a		

表 4.33(3) 李家沱污水处理厂 A²/O 工艺 W3 运行阶段数据清单表 4.33(3) The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant
of A²/O process in operation stage

资源消耗						
煤耗	水耗	原油消耗	液氯	絮凝剂	FeSO ₄	
7012.2t/a	4380t/a	5.18105t/a		5.367t/a	437.1t/a	
环境释放						
CO ₂	CH ₄	CO	NOx	SO ₂	TSP	CH
22215.62t/a	53.17t/a	75.90t/a	119.49t/a	195.05t/a	480.60t/a	0.143t/a
COD	TN	TP	SS	固废		
331.6t/a	200.01t/a	7.3t/a	143.05t/a	6485.57t/a		

表 4.33(4)李家沱污水处理厂 A-A²/O 工艺 W4 运行阶段数据清单Table 4.33(4) The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant
of A-A²/O process in operation stage

资源消耗						
煤耗	水耗	原油消耗	液氯	絮凝剂	FeSO ₄	
7454.24t/a	4380t/a	6.52t/a	219t/a	3.01t/a	78.3	
环境释放						
CO ₂	CH ₄	CO	NOx	SO ₂	TSP	CH
20467.4t/a	49.47t/a	29.67t/a	120.65t/a	187.29t/a	396.19t/a	0.18t/a
COD	TN	TP	SS	固废		
331.6t/a	146.74t/a	7.3t/a	143.07t/a	8849t/a		

表 4.33(5)李家沱污水处理厂 T 型氧化沟工艺 W5 运行阶段数据清单

Table 4.33(5) The output list of Li Jia Tuo sewage treatment plant
of oxidation ditch process in operation stage

资源消耗						
煤耗	水耗	原油消耗	液氯	絮凝剂	FeSO ₄	
8019.58t/a	4380t/a	15.987t/a	219t/a	3.01t/a	98.25t/a	
环境释放						
CO ₂	CH ₄	CO	NOx	SO ₂	TSP	CH
22225.9t/a	53.65t/a	45.34t/a	130.63t/a	202.90t/a	432.26t/a	0.68t/a
COD	TN	TP	SS	固废		
331.87t/a	146.74t/a	7.3t/a	143.10t/a	14828t/a		

从表 4.33(1)中可以看出,污水处理厂升级改造前消耗燃煤 4837.24t/a,主要是电的生产。所耗水量主要是日常生活用水和药剂混合用水。原油消耗主要燃煤和固体废弃物在运输过程中所耗燃油在生产过程中需要的原油量。药耗主要是往接触消毒池投加液氯以及污泥脱水时所消耗的絮凝剂。污水处理厂升级改造前阶段所排放的大气污染物主要来自电的生产过程,CO₂的排放量最大,为 12932t/a。水体污染物主要来自污水处理厂满负荷运行过程中的出水,COD 331.4t/a、TN 200.01t/a、TP 17.52t/a、SS 142.93t/a。排放固体废弃物 16942.3t/a,主要包括工作人员的生活垃圾 31t/a,预处理间的栅渣 1420t/a,旋流式沉砂池所产生的沉砂 1250t/a,污泥脱水间所产生的剩余污泥 12720t/a 和电的生产过程所产生的固体废弃物 1508.4t/a。

从表 4.33(2)中可以看出,污水处理厂升级改造后消耗燃煤 5263.54t/a,主要是电的生产。所耗水量主要是日常生活用水和药剂混合用水。原油消耗主要燃煤和固体废弃物在运输过程中所耗燃油在生产过程中需要的原油量。药耗主要是往接触消毒池投加液氯以及污泥脱水时所消耗的絮凝剂。污水处理厂升级改造后阶段所排放的大气污染物主要来自电的生产过程,CO₂的排放量最大,为 14085t/a。水体污染物主要来自污水处理厂升级改造后运行过程中的出水,COD 331.4t/a、TN 200.01t/a、TP 7.30t/a、SS143.00t/a。排放固体废弃物 17078.01t/a,主要包括工作人员的生活垃圾 31t/a,预处理间的栅渣 1420t/a,旋流式沉砂池所产生的沉砂 1250t/a,污泥脱水间所产生的剩余污泥 12720t/a 和电的生产过程所产生的固体废弃物 1644.2t/a。

从表 4.33(3)中可以看出,污水处理厂 A²/O 流程消耗燃煤 7012t/a,主要是电的生产。所耗水量主要是日常生活用水和药剂混合用水。原油消耗主要燃煤和固体废弃物在运输过程中所耗燃油在生产过程中需要的原油量。药耗是污泥脱水时所消耗的絮凝剂、液氯和 FeSO₄。污水处理厂升级改造后阶段所排放的大气污染物主要来自电的生产过程,CO₂的排放量最大,为 22215.62t/a。水体污染物主要来自污水处理厂运行过程中的出水,COD 331.6t/a、TN 200.01t/a、TP 7.30t/a、SS 143.05t/a。排放固体废弃物 6485.57t/a,主要包括工作人员的生活垃圾 31t/a,预处理间的栅渣 1420t/a,旋流式沉砂池所产生的沉砂 657t/a,污泥脱水间所产生的剩余污泥 2153.5t/a 和电的生产过程所产生的固体废弃物 2186.8t/a。

从表 4.33(4)中可以看出,污水处理厂 A-A²/O 流程消耗燃煤 7454.24t/a,主要是电的生产。所耗水量主要是日常生活用水和药剂混合用水。原油消耗主要燃煤和固体废弃物在运输过程中所耗燃油在生产过程中需要的原油量。药耗包括投加液氯进行消毒、污泥脱水时所消耗的絮凝剂和化学除磷投加的 FeSO₄。污水处理厂 A-A²/O 流程所排放的大气污染物主要来自电的生产过程,CO₂的排放量最大,为

20467.4t/a。水体污染物主要来自污水处理厂 A-A²/O 流程后运行过程中的出水，COD 331.6t/a、TN 146.74t/a、TP 7.30t/a、SS 143.07t/a。排放固体废弃物 8849t/a，主要包括工作人员的生活垃圾 31t/a，预处理间的栅渣 1420t/a，旋流式沉砂池所产生的沉砂 657t/a，污泥脱水间所产生的剩余污泥 3840t/a 和电的生产过程所产生的固体废弃物 2318t/a。

从表 4.33(5)中可以看出，污水处理厂 T 型氧化沟流程消耗燃煤 9771.3t/a，主要是电的生产。所耗水量主要是日常生活用水和药剂混合用水。原油消耗主要燃煤和固体废弃物在运输过程中所耗燃油在生产过程中需要的原油量。药耗包括投加液氯进行消毒、污泥脱水时所消耗的絮凝剂和化学除磷所投加的 FeSO₄。污水处理厂 T 型氧化沟流程所排放的大气污染物主要来自电的生产过程，CO₂ 的排放量最大，为 22225.9t/a。水体污染物主要来自污水处理厂 T 型氧化沟流程后运行过程中的出水，COD 331.87t/a、TN 146.74t/a、TP 7.30t/a、SS 143.10t/a。排放固体废弃物 14828t/a，主要包括工作人员的生活垃圾 31t/a，预处理间的栅渣 1420t/a，旋流式沉砂池所产生的沉砂 657t/a，污泥脱水间所产生的剩余污泥 12720t/a 和电的生产过程所产生的固体废弃物 2503.4t/a。

4.2.4 总结

综上所述，通过对李家沱污水处理厂各个工艺建设阶段和运行阶段整体输入与整体输出数据的生命周期分析，可以得到，污水处理厂建设和运行阶段的资源能源消耗和环境释放对每一功能单位的贡献量如表 4.34、4.35 所示。

表 4.34 污水处理厂各个工艺数据总输入清单

Table 4.34 The input list of sewage treatment plant process data

目标	各个	电能	混凝土	钢材	絮凝剂	液氯	FeSO ₄	原煤	原油
浓度	工艺	kwh	(m ³)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)	(t)
出水水质									
达到一级	W1	15026949.4	6670	933.8	13.14	51.1	-	4837.34	17.62
排放 B 标									
出水水质 达到一级 排放 A 标	W2	16235028.6	7003.3	980.5	13.14	51.1	-	5263.25	17.77
	W3	21129915	8240	1153.6	13.14	91.25	437.1	7012.33	8.67
	W4	21612433.4	6904	966.6	3.01	219	78.3	7454.33	9.45
	W5	24782519	10772	1508.08	3.01	219	98.25	8019.75	20.55

表 4.35 污水处理厂各个工艺数据总输出清单

Table 4.35 The output list of sewage treatment plant process data

目标浓度 \ 项目	各个工艺	CO ₂ (t)	CH ₄ (t)	CO(t)	NO _x (t)	SO ₂ (t)	TSP(t)
出水水质达到一级排放 B 标	W1	26228.2	83.41	155.58	123.20	206.12	546.75
	W2	28045.3	88.79	163.92	132.47	221.06	584.45
	W3	38643.4	117.39	242.16	175.22	301.57	854.79
	W4	34227.2	103.29	177.59	167.35	276.55	709.73
	W5	43698.94	137.61	262.69	203.49	342.14	921.01
目标浓度 \ 项目	各个工艺	CH(t)	COD(t)	TN(t)	TP(t)	SS(t)	固废(t)
出水水质达到一级排放 B 标	W1	0.50	334.76	200.01	17.52	250.15	21488.00
	W2	0.51	334.92	200.01	7.30	255.58	21850.54
	W3	0.26	335.77	200.01	7.30	275.51	12101.19
	W4	0.28	335.09	146.74	7.30	254.23	13554.28
	W5	0.84	337.08	146.74	7.30	316.26	22168.93

4.3 环境影响分类

分类是对清单分析所得到的输入与输出数据进行环境影响类别的划分。本论文生命周期评价中所包含的环境影响类别通常分为 10 类，如图 4.7 所示：

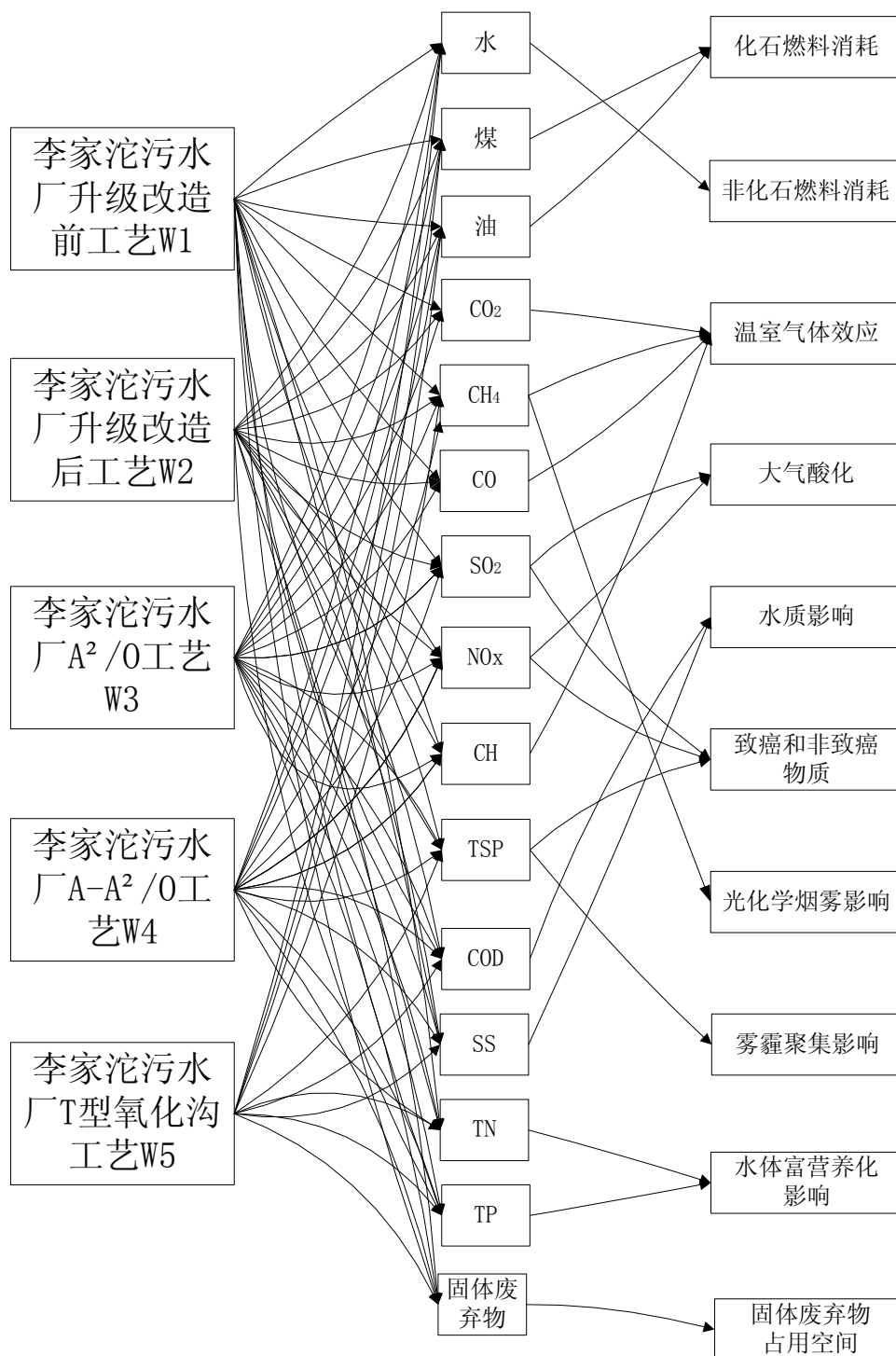


图 4.7 环境影响分类

Fig. 4.7 Classification of environmental impact

4.4 环境影响特征化

特征化是将每一个环境影响类别中的不同环境影响因素归类和汇总为统一的单元。根据国内外的相关研究，本论文对每一类环境影响将采取如下的计算方式。

4.4.1 非化石燃料消耗

污水处理厂非化石燃料的消耗主要是水的消耗，特征化按下式进行：

$$IRrr = \sum_{i=1}^n ISIRrr_i = \sum_{i=1}^n AMTrr_i \times (1 - RC_i) \quad (4.1)$$

式中： $IRrr$ ——非化石燃料消耗的特征化结果；

$ISIRrr_i$ ——第 i 种物质的非化石燃料消耗量；

$AMTrr_i$ ——第 i 种物质的清单分析量；

RC_i ——第 i 种物质的回收率或重复利用率。

根据公式 4.1 计算得到，污水处理厂各个工艺对水资源消耗的特征化结果如表 4.1 所示。

表 4.36 非化石燃料消耗

Table 4.36 Non fossil fuel consumption

水	$RC^{[69]}$	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
特征化结果	0	4380	4380	4380	4380	4380

从表 4.36 中可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前后所耗水量一致，并且设计的工艺流程所耗水量也一致，为 4380t/a。来自于污水处理厂运营过程中的日常生活用水和药剂混合用水。

4.4.2 化石燃料消耗

污水处理厂化石燃料的消耗主要是煤和石油，其消耗量采用美国环保局(EPA)提供的计算模型。化石燃料消耗的计算模型与非可再生资源消耗相比增加了一个系数，即资源重要性系数，用来区分各种资源的丰富和重要程度。计算方法见公式 4.2。

$$NRrr = \sum_{i=1}^n ISNRrr_i = \sum_{i=1}^n W_i \times [AMTrr_i \times (1 - RC_i)] \quad (4.2)$$

式中： $NRrr_i$ ——化石燃料消耗量；

$ISNRrr_i$ ——第 i 种物质的化石燃料消耗量；

$AMTrr_i$ ——第 i 种物质的清单分析量；

RC_i ——第 i 种物质的回收率或重复利用率；

W_i ——第 i 种物质的资源重要性系数。

李家沱污水处理厂各个不同工艺的化石燃料消耗特征化结果如表 4.37 所示。

表 4.37 化石燃料消耗特征化

Table 4.37 The characterization of consumption of fossil fuel

资源名称	W_i	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
煤	0.87	4208.4	4666.03	6100.72	6485.27	6977.18
石油	1.25	22.03	22.21	10.84	11.81	25.69
总计		4230.43	4688.24	6111.56	6497.08	7002.87

从表 4.37 中可以看出, 李家沱污水处理厂升级改造前 W1 的化石燃料消耗为 4230.43t/a, 升级改造后 W2 化石燃料消耗为 4688.24t/a, A²/O 工艺 W3 的化石燃料消耗为 6111.56t/a, A-A²/O 工艺 W4 的化石燃料消耗为 6497.08t/a, T 型氧化沟工艺 W5 的化石燃料消耗为 7002.87t/a。如图 4.8 所示:

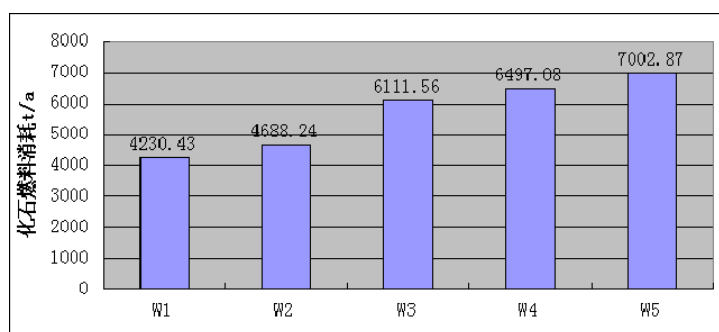


图 4.8 李家沱污水处理厂各个工艺化石燃料的消耗量

Fig. 4.8 The each process of consumption of fossil fuel of Li Jia Tuo sewage treatment plant

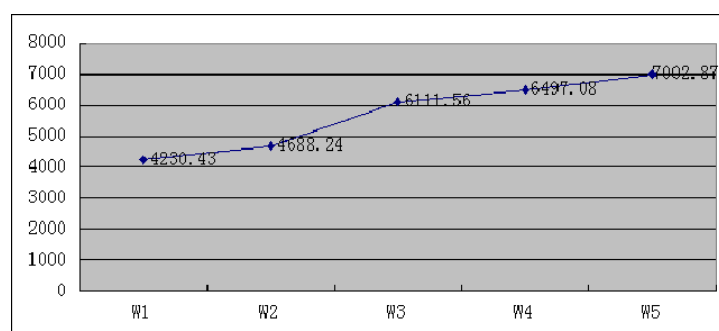


图 4.9 李家沱污水处理厂各个工艺化石燃料的消耗量的变化趋势

Fig. 4.9 The change trend of consumption of fossil fuel of each process

从图 4.8、4.9 中可以看出, 李家沱污水处理厂每年所消耗的化石燃料量, 升级改造后的工艺 W2 在运营阶段比升级改造前 W1 略大; 其余工艺所消耗的化石燃

料量，依次为 W3 工艺 6111.56t/a、W4 工艺 6497.08t/a、W5 工艺 7002.87t/a，W5 工艺的消耗量为最大。

4.4.3 温室气体效应

温室气体效应是指排放的温室气体对全球平均温度提高的贡献潜在值。以 CO₂ 为基准，通过比较，进而将结果相加汇总。其计算方法如公式 4-4 所示。

$$GWP = \sum_{i=1}^n ISGW_i = \sum_{i=1}^n EFGWP_i \times AMTGG_i \quad (4.4)$$

- 式中：GWP——表示温室气体效应；
ISGW_i——表示第 i 种温室气体的效应；
EFGWP_i——表示第 i 种物质的 GWP 相关性系数，本文采用 EPA 公布的相关系数；
AMTGG_i——表示第 i 种物质的清单分析排放量。

根据公式 4-4 可计算得到李家沱污水处理厂各个不同运行工艺的温室气体效应，特征化结果如表 4.38 所示：

表 4.38 温室气体效应

Table 4.38 The impact of greenhouse gases						
温室气体	GWP 系数 ^[69]	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
CO ₂	1	26228.2	28045.3	38643.4	34227.2	43698.94
CH ₄	21	1751.61	1864.59	2465.19	2169.09	2889.81
CO	3	466.74	491.76	726.48	532.77	788.07
NO _x	40	4928	5298.8	7008.8	6694	8139.60
CH	3	1.50	1.53	0.78	0.84	2.52
总计		33376.05	35701.98	48844.65	43623.90	55518.94

从表 4.38 中可以看出，温室气体效应所考虑的物质是 CO₂、NO_x、CH₄、CO、CH 经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前对温室气体效应的贡献为 33376.05t/a，污水处理厂升级改造后对温室气体效应的贡献为 35701.98t/a，因此污水厂升级改造后对温室气体效应比升级改造前大。

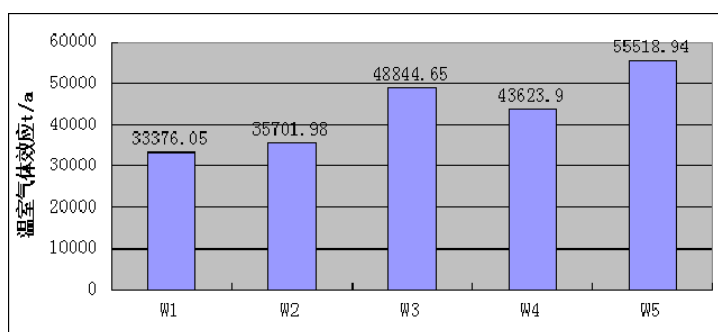


图 4.10 李家沱污水处理厂各个工艺温室气体效应

Fig. 4.10 The impact of greenhouse gases of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

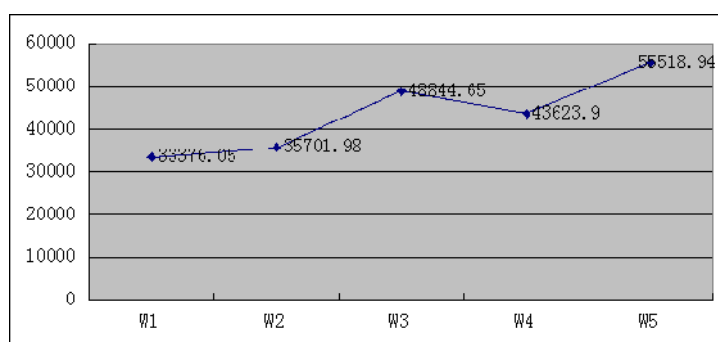


图 4.11 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段温室气体效应的变化趋势

Fig 4.11 The change trend of the impact of greenhouse gases of each process

从图 4.10、4.11 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对温室气体效应，依次为 W1 工艺 33376.05t/a、W2 工艺 35701.98t/a、W4 工艺 43623.9t/a，W3 工艺 48844.65t/a、W5 工艺 55518.94t/a。

4.4.4 光化学烟雾

光化学烟雾影响(POCP)是指所排放的物质对光化学烟雾形成的贡献值。其计算公式如 4-5 所示。

$$POCP = \sum_{i=1}^n ISPOCP_i = \sum_{i=1}^n EPPOCP_i \times AMTPOCP_i \quad (4.5)$$

式中：POCP_i ——光化学烟雾影响；

ISPOCP_i ——第 i 种物质的光化学烟雾影响；

EPPOCP_i ——第 i 种物质的 POCP 相关性系数，本文采用 EPA 公布的 POCP_i 相关系数；

AMTPOCP_i ——第 i 种物质的清单分析排放量。

根据公式 4.5 可计算得到李家沱污水处理厂生命周期各个不同运行工艺的光化学烟雾影响特征化结果如表 4.39 所示。

表 4.39 光化学烟雾特征化结果

Table 4.39 The characterization of effect of photochemical smog

名称	POCP 系数 ^[69]	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
SO ₂	0.05	10.31	11.05	15.08	13.83	17.11
CH ₄	0.007	0.58	0.62	0.82	0.72	0.96
CO	0.03	4.66	4.92	7.26	5.33	7.88
NO _x	0.03	3.70	3.97	5.26	5.02	6.10
总计		19.25	20.56	28.42	24.9	32.05

从表 4.39 中可以看出,光化学烟雾影响所考虑的物质是 SO₂、CH₄、CO、NO_x 经特征化计算可以看出,李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对光化学烟雾环境影响的贡献为 19.25t/a,污水处理厂升级改造后 W2 对光化学烟雾环境影响的贡献为 20.56t/a,因此污水厂升级改造后对光化学烟雾的影响比升级改造前大。

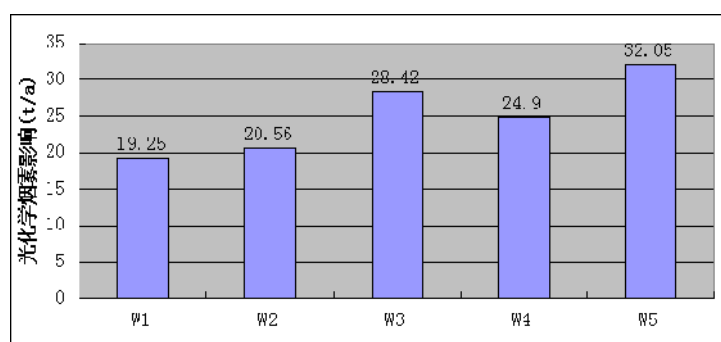


图 4.12 李家沱污水处理厂各个工艺光化学烟雾影响

Fig. 4.12 The effect of photochemical smog of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

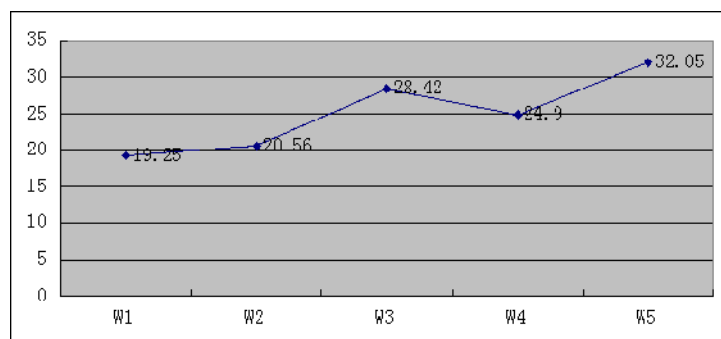


图 4.13 李家沱污水处理厂各个工艺光化学烟雾影响的变化趋势

Fig. 4.13 The change trend of effect of photochemical smog of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.12、4.13 中可以看出, 李家沱污水处理厂各个工艺每年对光化学烟雾影响, 依次为 W1 工艺 19.25t/a、W2 工艺 20.56t/a、W4 工艺 24.90t/a、W3 工艺 28.42t/a、W5 工艺 32.05t/a。

4.4.5 大气酸化

大气酸化影响是二氧化硫(SO₂)及其生成的酸雾、酸雨等酸性物质可扩散到一些地区和湖泊、使土壤和湖泊酸化而危害生物体的生存。其计算公式如 4-6 所示。

$$AP = \sum_{i=1}^n ISAP_i = \sum_{i=1}^n EPAP_i \times AMTAP_i \quad (4.6)$$

式中: AP_i——酸化影响;

ISAP_i——第 i 种物质的酸化影响;

EPAP_i——第 i 种物质的 AP 相关性系数, 本文采用 EPA 公布的 AP 相关系数;

AMTAP_i——第 i 种物质的清单分析排放量。

李家沱污水处理厂各个工艺的大气酸化影响特征化结果如表 4.40 所示。

表 4.40 大气酸化特征化结果

Table 4.40 The characterization of atmospheric acidification

名称	POCP 系数 ^[69]	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
NO _x	0.7	86.24	92.73	122.65	117.14	142.44
SO ₂	1.0	206.12	221.06	301.57	276.55	342.14
总计		292.36	313.79	424.22	393.69	484.58

从表 4.40 中可以看出, 大气酸化影响所考虑的物质是 SO₂、NO_x 经特征化计算可以看出, 李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对大气酸化环境影响的贡献为 292.36t/a, 污水处理厂升级改造后 W2 对大气酸化环境影响的贡献为 313.79t/a, 因此污水厂升级改造后对大气酸化的影响比升级改造前大。

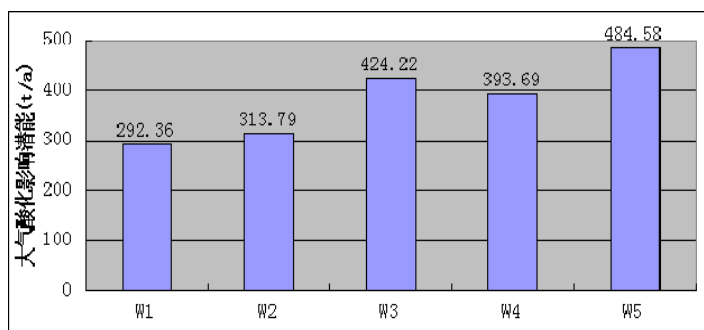


图 4.14 李家沱污水处理厂各个工艺大气酸化影响

Fig. 4.14 The effect of atmospheric acidification of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

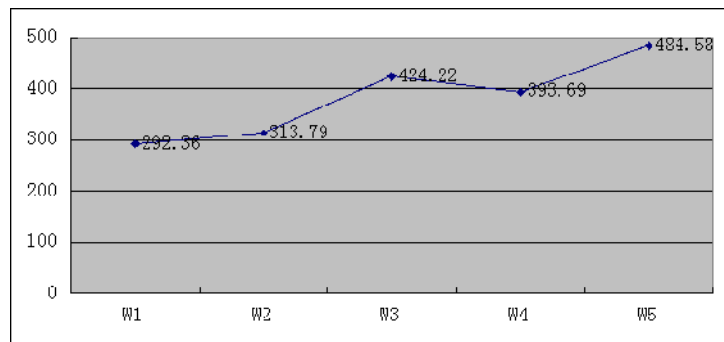


图 4.15 李家沱污水处理厂各个工艺大气酸化影响的变化趋势

Fig. 4.15 The change trend of effect of atmospheric acidification of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.14、4.15 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对大气酸化影响，依次为 W1 工艺 292.36t/a、W2 工艺 313.79t/a、W4 工艺 393.69t/a，W3 工艺 424.22t/a、W5 工艺 484.58t/a。

4.4.6 水体富营养化

水体富营养化是指氮(N)、磷(P)等营养物质和有机物质不断的排入水体中，造成水体中藻类爆炸式的增长，破坏水中复氧平衡以及耗尽水中的溶解氧，使得其他生物死亡的一种现象。其计算公式如 4-7 所示。

$$EP = \sum_{i=1}^n ISEP_i = \sum_{i=1}^n EFEP_i \times AMTEP_i \quad (4.7)$$

式中： EP_i ——水体富营养化影响；

$ISEP_i$ ——第 i 种物质的水体富营养化影响；

$EFEP$ ——第 i 种物质的 EP 相关性系数，本文采用 EPA 公布的 EP 相关性系数；

$AMTEP_i$ ——第 i 种物质的清单分析排放量。

李家沱污水处理厂各个工艺的水体富营养化影响特征化结果如表 4.41 所示。

表 4.41 水体富营养化特征化结果

Table 4.41 The characterization of Eutrophication

名称	EP 系数 ^[69]	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
TN	0.42	84.00	84.00	84.00	61.63	61.63
TP	3.06	53.61	22.34	22.34	22.34	22.34
COD	0.022	7.36	7.37	7.39	7.37	7.42
总计		144.97	113.71	113.73	91.34	91.39

从表 4.34 中可以看出，水体富营养化所考虑的物质是总氮、总磷和 COD 经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对水体富营养化的贡献为 144.97t/a，污水处理厂升级改造后 W2 对水体富营养化的贡献为 113.71t/a，因此污水处理厂升级改造后对水体富营养化的影响比升级改造前小。

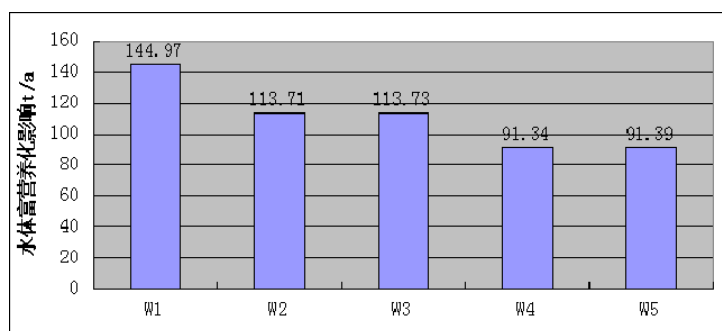


图 4.16 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段水体富营养化影响潜能

Fig. 4.16 The effect of eutrophication of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

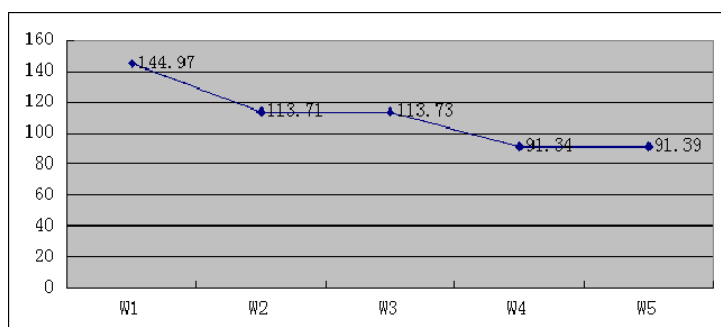


图 4.17 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段水体富营养化影响潜能的变化趋势

Fig. 4.17 The change trend of effect of eutrophication of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.16、4.17 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对水体富营养化影响潜能，依次为 W1 工艺 144.97t/a、W2 工艺 113.71t/a、W3 工艺 113.73t/a，W5 工艺 91.39t/a、W4 工艺 91.34t/a。

4.4.7 水质影响

水质影响是指由于 COD、SS 等物质进入地表水而引起地表水污染从而导致的 水中溶解氧消耗、水质恶化的现象。其计算公式如 4-8 所示。

$$WQP = AMTCOD + AMTSS \quad (4.8)$$

式中：WQP——水质影响；

AMTCOD——COD 的清单分析排放量；

AMTSS——SS 的清单分析排放量。

李家沱污水处理厂各个工艺的水质影响特征化结果如表 4.42 所示。

表 4.42 水质影响特征化结果

Table 4.42 The characterization of water effects

名称	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
SS	250.15	255.58	275.51	254.23	316.36
COD	334.76	334.92	335.77	335.09	337.08
总计	584.91	590.50	611.28	589.32	653.44

从表 4.42 中可以看出，水质影响所考虑的物质是 SS 和 COD 经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对水质影响的贡献为 584.91t/a，污水处理厂升级改造后 W2 对水质影响的贡献为 590.50t/a，因此污水厂升级改造后对水质影响与升级改造前相比略微增加。

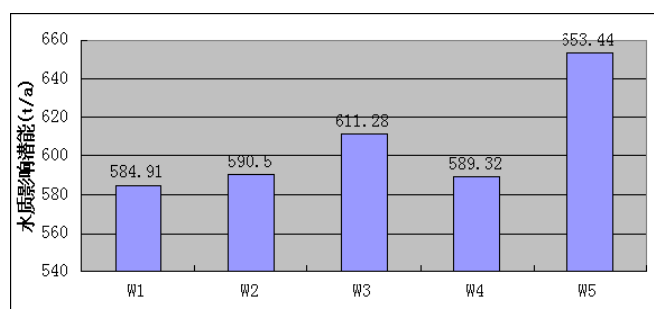


图 4.18 李家沱污水处理厂各个工艺水质影响潜能

Fig. 4.18 Effect of water of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

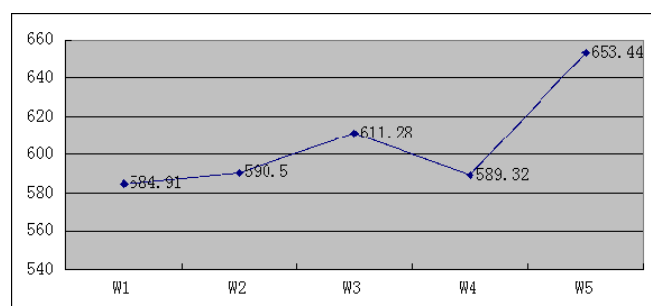


图 4.19 李家沱污水处理厂各个工艺水质影响潜能的变化趋势

Fig. 4.19 The change trend of effect of water of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.18、4.19 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对水质影响，依次为 W1 工艺 584.91t/a、W2 工艺 590.50t/a、W4 工艺 589.32t/a、W3 工艺 611.28t/a、W5 工艺 653.44t/a。

4.4.8 雾霾聚集影响

雾霾聚集影响是指由于大气中颗粒物质的排放而引起的空气质量下降的现象，其计算公式如 4.9 所示。

$$AQP=AMTTSP \quad (4.9)$$

式中： AQP ——雾霾聚集影响；

AMTTSP —— TSP 的清单分析排放量。

李家沱污水处理厂各个工艺的雾霾聚集影响特征化结果如表 4.36 所示。

表 4.43 雾霾聚集影响特征化结果

Table 4.43 The characterization of effects of haze aggregation

名称	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
TSP	546.75	584.45	854.79	709.73	921.01

从表 4.43 中可以看出，雾霾聚集影响所考虑的物质是 TSP 经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对雾霾聚集影响的贡献为 546.75t/a，污水处理厂升级改造后 W2 对雾霾聚集影响的贡献为 584.45t/a，因此污水厂升级改造后对雾霾聚集影响比升级改造前大。

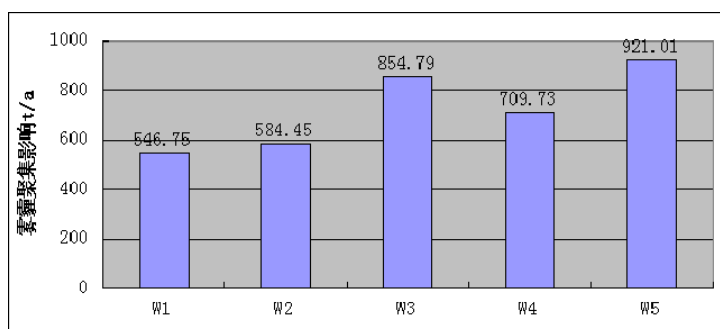


图 4.20 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段雾霾聚集影响潜能

Fig 4.20 Influence each process of haze aggregation of
Lia Jia Tuo sewage treatment plant

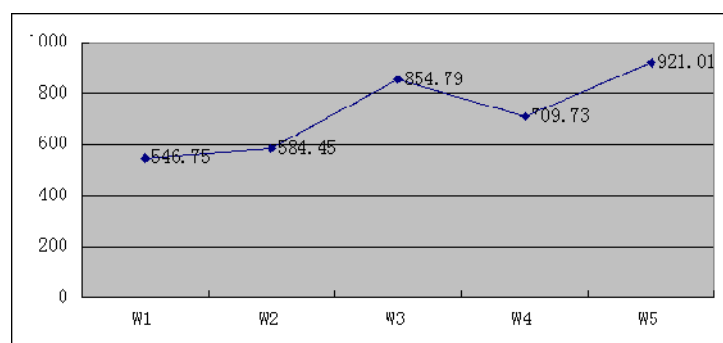


图 4.21 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段雾霾聚集影响潜能的变化趋势

Fig. 4.21 The change trend of effect of each process of haze aggregation of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.20、4.21 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年雾霾聚集影响，依次为 W1 工艺 546.75t/a、W2 工艺 584.45t/a、W4 工艺 854.79t/a、W3 工艺 707.73t/a、W5 工艺 921.01t/a。

4.4.9 固体废弃物的占用空间

固体废弃物的占用空间是指固体废弃物或者是有害固体废弃物进入垃圾填埋场时所需要的填埋空间的消耗，其计算公式如 4-10 所示。

$$SW = \sum_{i=1}^n ISSW_i \quad (4.10)$$

式中： SW_i ——固体废弃物的占用空间；

$ISSW_i$ ——第 i 种物质的固体废弃物的占用空间；

李家沱污水处理厂各个工艺的固体废弃物的占用空间特征化结果如表 4.44 所示。

表 4.44 固体废弃物的占用空间特征化结果

Table4.44 The characterization of effects of Influence of space occupied by solid waste

名称	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
固体废弃物	21488.00	21850.54	12101.19	13554.28	22168.93

从表 4.44 中可以看出，固体废弃物的占用空间影响所考虑的物质是固体废弃物经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对固体废弃物的占用空间影响的贡献为 21488.00t/a，污水处理厂升级改造后 W2 对固体废弃物的占用空间影响的贡献为 21850.54t/a，因此污水厂升级改造后对固体废弃物的占用空间影响比升级改造前大。

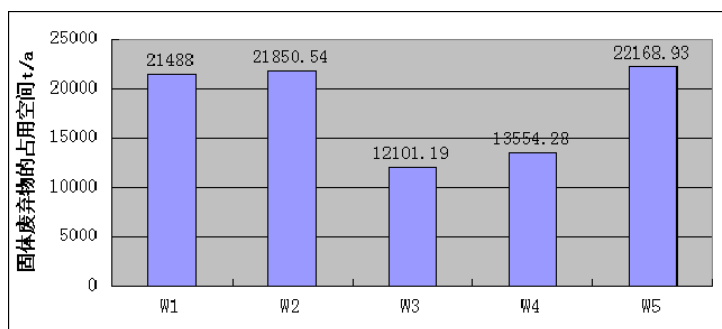


图 4.22 李家沱污水处理厂各个工艺流程固体废弃物的占用空间影响

Fig. 4.22 Each process of space occupied by solid waste influence of
Lia Jia Tuo sewage treatment plant

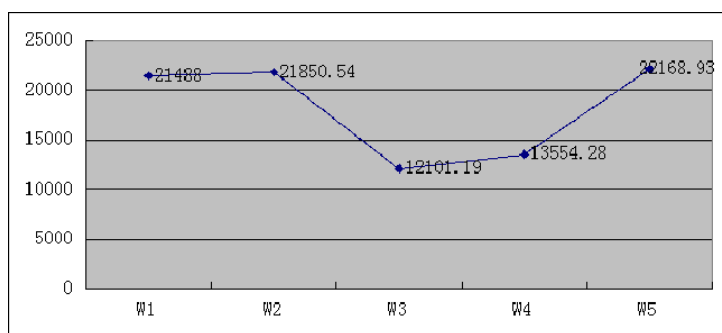


图 4.23 李家沱污水处理厂各个工艺流程固体废弃物占用空间影响的变化趋势

Fig. 4.23 The change trend of effect of space occupied by solid waste of
Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.22、4.23 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对固体废弃物的占用空间，W1 工艺 21488.00t/a、W2 工艺 21850.54t/a、W3 工艺 12101.19t/a，W4 工艺 13554.28t/a、W5 工艺 22168.93t/a。

4.4.10 致癌和非致癌物质影响

致癌和非致癌物质影响是指所排放的污染物质对人类健康的影响，计算时采用人体健康受损负荷值，如公式 4-11 所示。

$$HE = \sum_{i=1}^n ISHE_i = \sum_{i=1}^n EFHE_i \times AMTHE_i \quad (4.11)$$

式中：HE ——致癌和非致癌物质影响；

ISHE_i ——第 i 种物质的致癌和非致癌物质影响；

EFHE_i ——第 i 种物质的人体健康影响相关系数，本文采用人体健康影

响因子；

AMTHE_i ——第 i 种物质的清单分析排放量。

李家沱污水处理厂各个工艺的致癌和非致癌物质影响特征化结果如表 4.45 所示。

表 4.45 致癌和非致癌物质影响特征化结果

Table 4.45 The characterization of effects of Influence
of carcinogenic and non carcinogenic substance

名称	人体健康损因子 ^[69]	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
NO _x	0.000151	0.019	0.020	0.026	0.025	0.031
SO ₂	0.0000535	0.011	0.012	0.016	0.015	0.018
TSP	0.000375	0.21	0.22	0.32	0.27	0.35
总计		0.24	0.25	0.36	0.31	0.40

从表 4.45 中可以看出，致癌和非致癌物质影响所考虑的物质是 NO_x、SO₂ 和 TSP 经特征化计算可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前 W1 对致癌和非致癌物质影响的贡献为 0.24t/a，污水处理厂升级改造后 W2 对致癌和非致癌物质影响的贡献为 0.25t/a，因此污水厂升级改造后对致癌和非致癌物质影响比升级改造前略微增加。

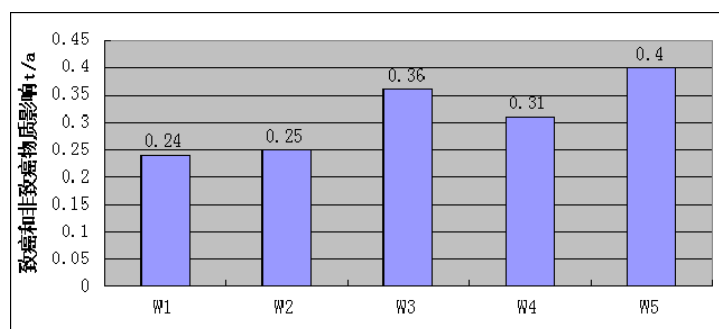


图 4.24 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段致癌和非致癌物质影响

Fig 4.24 Each process of operation stage of carcinogenic and non carcinogenic substance
of Li Jia Tuo sewage treatment plant

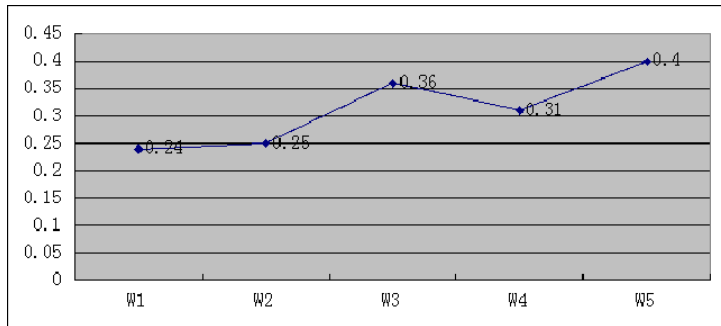


图 4.25 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段致癌和非致癌物质影响的变化趋势

Fig. 4.25 The change trend of effect of carcinogenic and non carcinogenic substance of each process of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.24、4.25 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺每年对致癌和非致癌物质影响，W1 工艺 0.24t/a、W2 工艺 0.25t/a、W4 工艺 0.31t/a、W3 工艺 0.36t/a、W5 工艺 0.40t/a。

4.4.11 总结

综上所述，李家沱污水处理厂升级改造前后环境影响类别的特征化结果如表 4.46 所示。

表 4.46 李家沱污水处理厂升级改造前后影响特征化结果

Table 4.46 The characterization of impacts of upgrading and upgraded of Li Jia Tuo sewage treatment plant

环境影响类别	W1(t/a)	W2(t/a)
非化石燃料消耗 t/a	4380	4380
化石燃料消耗 t/a	4230.43	4688.24
温室气体效应 t/a	33376.05	35701.98
光化学烟雾影响 t/a	19.25	20.56
大气酸化影响 t/a	292.36	313.79
水体富营养化影响 t/a	144.97	113.71
水质影响 t/a	584.91	590.50
雾霾聚集影响 t/a	546.75	584.45
固体废弃物的占用空间 t/a	21488.00	21850.54
致癌和非致癌物质影响 t/a	0.24	0.25

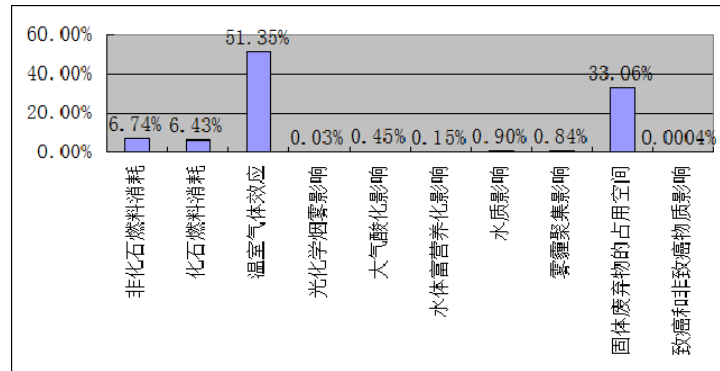


图 4.26 李家沱污水处理厂升级改造前各个环境影响因素的百分比

Fig. 4.26 Li Jia Tuo sewage treatment plant upgrading of various environmental factors affecting the percentage

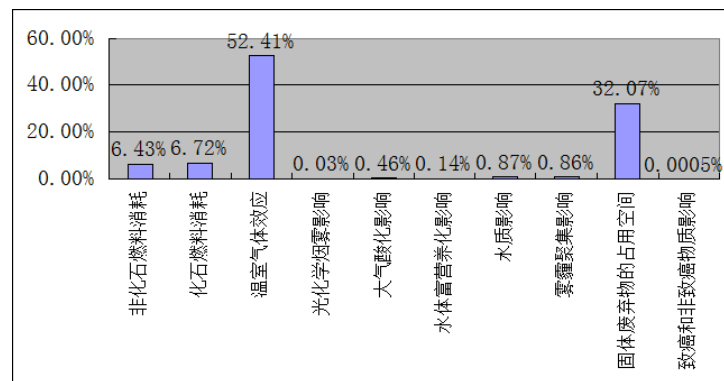


图 4.27 李家沱污水处理厂升级改造后各个环境影响因素的百分比

Fig. 4.27 Li Jia Tuo sewage treatment plant upgraded of various environmental factors affecting the percentage

从图 4.26、4.27 中可以看出，李家沱污水处理厂升级改造前后温室气体效应、固体废弃物的占用空间、非化石燃料消耗和化石燃料消耗消耗对环境的影响所占比例较大，其他因素影响较小，其中致癌和非致癌物质影响很小可忽略不计。

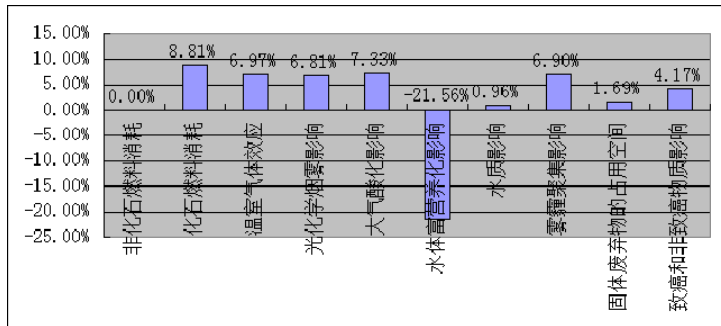


图 4.28 李家沱污水处理厂各个环境影响因素升级改造后对环境的变化量

Fig. 4.28 The change on environment upgrade various environment factors of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.28 中可以看出，化石燃料消耗、全球变暖影响潜能、光化学烟雾影响、大气酸化影响、水质影响、雾霾聚集影响、填埋空间消耗和人体健康影响都比升级改造前增加了，而水体富营养化则显著降低了。

根据前面每个环境影响，总结出李家沱污水厂各个工艺流程环境影响的大小如表 4.47 所示：

表 4.47 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段环境影响潜能

Table4.47 Each process of operation stage of environmental impact potential of Li Jia Tuo sewage treatment plant

环境影响类别	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
非化石燃料消耗 t/a	4380	4380	4380	4380	4380
化石燃料消耗 t/a	4230.43	4688.24	6111.56	6497.08	7002.87
温室气体效应 t/a	33376.05	35701.98	48844.65	43623.90	55518.94
光化学烟雾影响 t/a	19.25	20.56	28.42	24.90	32.05
大气酸化影响 t/a	292.36	313.79	424.22	393.69	484.58
水体富营养化影响 t/a	144.97	113.71	113.73	91.34	91.39
水质影响 t/a	584.91	590.50	611.28	589.32	653.44
雾霾聚集影响 t/a	546.75	584.45	854.79	709.73	921.01
固体废弃物的占用空间 t/a	21488.00	21850.54	12101.19	13554.28	22168.93
致癌和非致癌物质影响 t/a	0.24	0.25	0.36	0.31	0.40

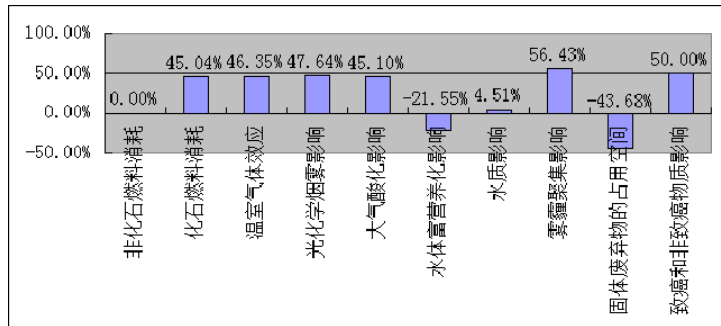


图 4.29 A²/O 工艺与升级改造前工艺相比各个环境影响的变化

Fig.4.29 Changes of A²/O and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the environmental impact

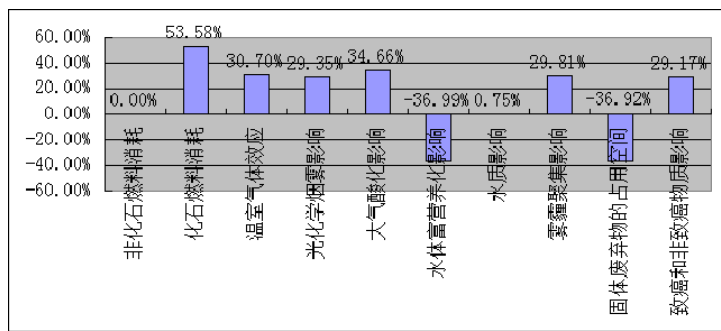


图 4.30 A-A²/O 工艺与升级改造前工艺相比环境影响的变化

Fig. 4.30 Changes of A-A²/O and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the environmental impact

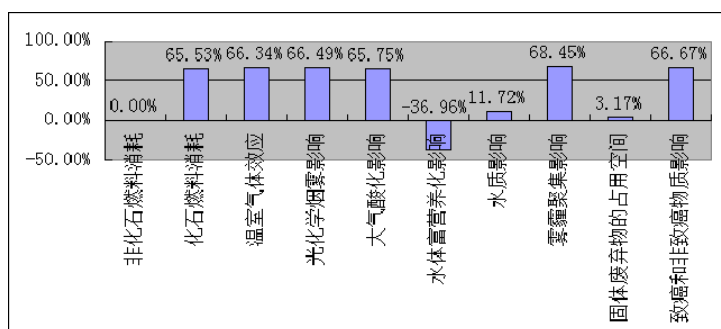


图 4.31 T 型氧化沟工艺与升级改造前工艺相比环境影响的变化

Fig.4.31 Changes of oxidation ditch and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the environmental impact

图 4.29 中可以看出，A²/O 工艺化石燃料消耗比升级改造前增加了 45.04%、温室气体效应比升级改造前增加了 46.35%、光化学烟雾影响比升级改造前增加了

47.64%、大气酸化影响比升级改造前增加了 45.10%、雾霾聚集影响比升级改造前增加了 56.43%、致癌和非致癌物质影响比升级改造前增加了 50.00%、水质影响增加了 4.51%、水体富营养化下降了 21.55%、固体废弃物的占用空间反而下降了 43.68%、非化石燃料消耗未发生变化。

图 4.30 中可以看出，A-A²/O 工艺化石燃料消耗比升级改造前增加了 53.58%、温室气体效应比升级改造前增加了 30.70%、光化学烟雾影响比升级改造前增加了 29.35%、雾霾聚集影响比升级改造前增加了 29.81%、致癌和非致癌物质影响比升级改造前增加了 29.17%、水质影响增加了 0.75%、水体富营养化下降了 36.99%、固体废弃物的占用空间反而下降了 36.92%、非化石燃料消耗未发生变化。

图 4.31 中可以看出，T 型氧化沟工艺化石燃料消耗比升级改造前增加了 65.63%、温室气体效应比升级改造前增加了 66.34%、光化学烟雾影响比升级改造前增加了 66.49%、大气酸化影响比升级改造前增加了 65.75%、雾霾聚集影响比升级改造前增加了 68.45%、致癌和非致癌物质影响比升级改造前增加了 66.67%、水质影响增加了 11.72%、固体废弃物的占用空间增加了 3.17%、水体富营养化下降了 36.96%、非化石燃料消耗未发生变化。

4.5 AHP 法清单分析

4.5.1 权重向量的计算

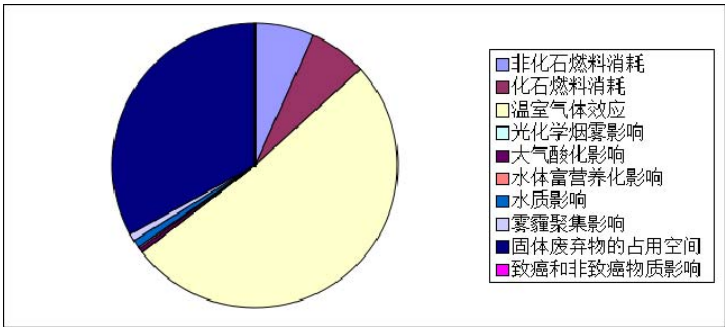


图 4.32(1) 李家沱污水处理厂升级改造前每个环境影响因素的百分比

Fig. 4.32(1) The percentage of each environmental impact factor of Li Jia Tuo sewage treatment plant before upgrading process

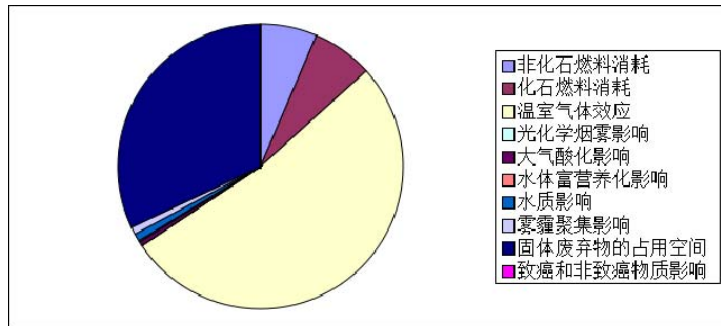


图 4.32(2) 李家沱污水处理厂升级改造前每个环境影响因素的百分比
Fig. 4.32(2) The percentage of each environmental impact factor of Li Jia Tuo sewage treatment plant after upgrading process

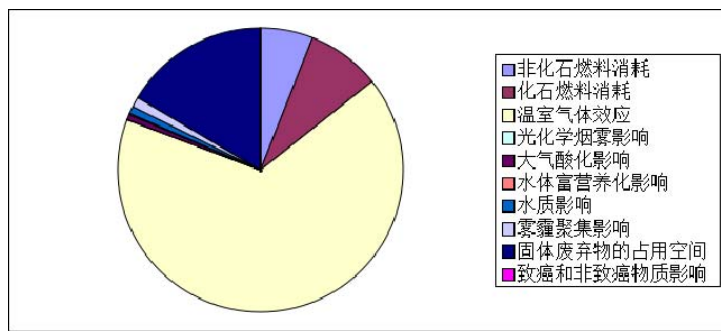


图 4.32(3) 李家沱污水处理厂 A²/O 每个环境影响因素的百分比
Fig. 4.32(3) The percentage of each environmental impact factor of Li Jia Tuo sewage treatment plant of A²/O process

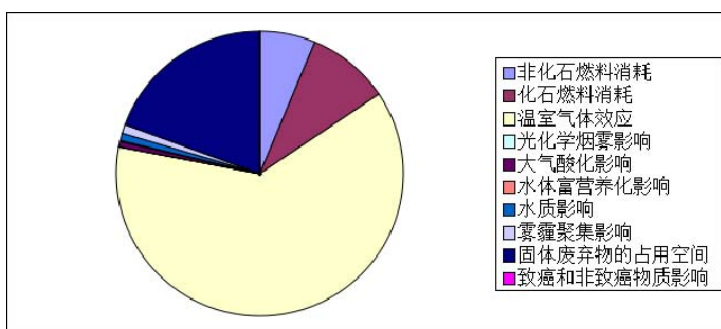


图 4.32(4) 李家沱污水处理厂 A-A²/O 每个环境影响因素的百分比
Fig. 4.32(4) The percentage of each environmental impact factor of Li Jia Tuo sewage treatment plant of A-A²/O process

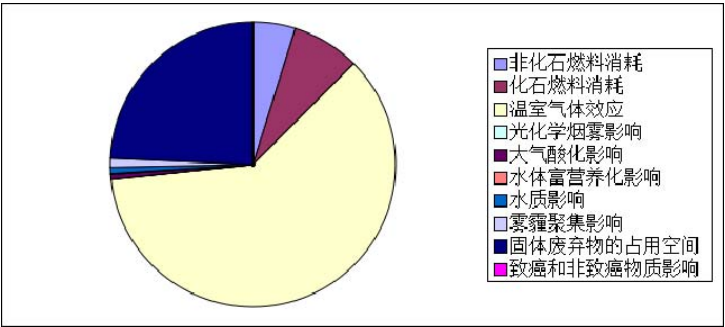


图 4.32(5) 李家沱污水处理厂 T 型氧化沟每个环境影响因素的百分比

Fig. 4.32(5) The percentage of each environmental impact factor of
Li Jia Tuo sewage treatment plant of oxidation ditch process

如图 4.32，李家沱污水厂各个工艺中温室气体效应、固体废弃物的占用空间、化石燃料消耗和非化石燃料消耗对污水厂环境影响大，光化学烟雾影响、大气酸化影响、水体富营养化、水质影响和雾霾聚集影响对污水厂影响很小，致癌和非致癌物质影响与各个因素相比，数值很小，可忽略不计。

通过前文的环境影响分类，可以把整体环境影响作为目标决策层，把不同的环境影响类型看作是子目标层，从而构建一个适用于李家沱污水处理厂环境影响分析的层次模型。

采用九标标度法，通过两两对比不同的环境影响类别的影响范围和影响程度，得到不同环境影响类型相对重要性的判断矩阵如表 4.48 所示：

表 4.48 不同环境影响类型相对重要性的判断矩阵

Table 4.48 Judgment matrix the relative importance of different environmental impact type

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
温室气体效应 P1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
固体废弃物的占用空间 P2	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
化石燃料消耗 P3	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
非化石燃料消耗 P4	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
雾霾聚集影响 P5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
大气酸化影响 P6	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
水体富营养化影响 P7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
水质影响 P8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
光化学烟雾影响 P9	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

经过公式计算后，得到每一行几何平均值所构建的向量 M ，
 $M = [4.15, 3.00, 2.11, 1.46, 1, 0.68, 0.47, 0.33, 0.24]^T$
 经公式 4-13 计算后，得到判断矩阵所对应的权重向量 w ，
 $w = [0.309, 0.223, 0.157, 0.109, 0.074, 0.05, 0.035, 0.025, 0.0178]^T$
 经公式 4-14 计算可以得到，判断矩阵的最大特征值为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \frac{Aw_i}{w_i} = 9.41$$

$$CI = (9.41 - 9) / (9 - 1) = 0.05$$

$$CR = CI / RI = 0.05 / 1.45 = 0.03 < 0.10$$

所以，所构建判断矩阵满足一致性要求，所得权重向量为：
 $w = [0.309, 0.223, 0.157, 0.109, 0.074, 0.05, 0.035, 0.025, 0.0178]^T$
 因此，根据权重向量得到李家沱污水厂环境影响类型的权重值，如图 4.36 所示。

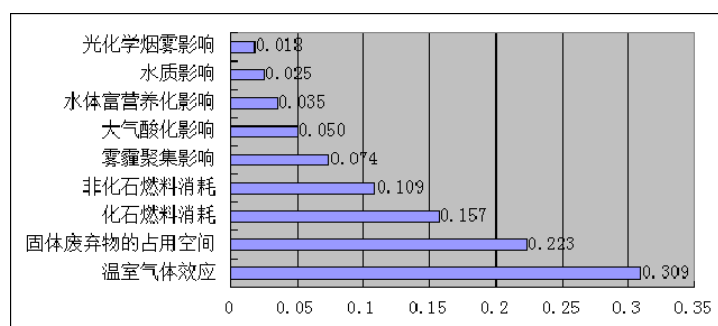


图 4.33 李家沱污水处理厂环境影响类型的权重值

Fig. 4.33 The environmental impact type weights of Li Jia Tuo sewage treatment plant

从图 4.33 中可以看出，李家沱污水处理厂各个工艺流程，所排放的温室气体对全球变暖影响很大，则本研究对温室气体效应所赋权重较大为 0.309；不同工艺所产生的固体废弃物的占用空间产生较大影响，因此本研究对填埋空间消耗所赋权重为 0.223；由于化石燃料消耗后不可恢复，且当今世界能源危机日趋严重，所以本研究对化石燃料消耗所赋权重为 0.157；非化石燃料消耗主要是水资源的消耗，本研究对非化石燃料消耗所赋权重结果为 0.109；雾霾聚集影响、大气酸化影响、水体富营养化影响、水质影响和光化学烟雾影响，环境排放量小，所以所赋权重较小，依次为 0.074、0.05、0.035、0.025 和 0.018。

4.5.2 加权评估

通过对特征化结果加权之后，得到污水处理厂各个工艺在运营阶段对外部环境的影响值，生命周期评价结果，如表 4.49 所示。

表 4.49 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段环境影响潜能加权量化结果

Table 4.49 Each process of operation stage of environmental impact potential
weighted quantitative results of Li Jia Tuo sewage treatment plant

环境影响类别	权重	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
温室气体效应 t/a	0.309	10313.20	11031.91	15093.00	13479.79	17155.35
固体废弃物的占用空间 t/a	0.223	4791.82	4872.67	2698.57	3022.60	4943.67
化石燃料消耗 t/a	0.157	664.18	736.05	959.51	1020.04	1099.45
非化石燃料消耗 t/a	0.109	477.42	477.42	477.42	477.42	477.42
雾霾聚集影响 t/a	0.074	40.46	43.25	63.25	52.52	68.15
大气酸化影响 t/a	0.050	14.62	15.69	21.21	19.68	24.23
水体富营养化影响 t/a	0.035	5.07	3.98	3.98	3.20	3.20
水质影响 t/a	0.025	14.62	14.76	15.28	14.73	16.34
光化学烟雾影响 t/a	0.018	0.35	0.37	0.51	0.45	0.58

由于致癌和非致癌物质影响排放值很小，进行权重向量时未考虑致癌和非致癌物质影响，现在将致癌和非致癌物质影响考虑进来，则最终的各个处理工艺的运营阶段加权环境影响总值，结果如表 4.50：

表 4.50 李家沱污水处理厂各个工艺流程运行阶段环境影响潜能最终结果

Table 4.50 Each process of operation environment influence the final results of
Li Jia Tuo sewage treatment plant

环境影响类别	W1(t/a)	W2(t/a)	W3(t/a)	W4(t/a)	W5(t/a)
温室气体效应 t/a	10313.20	11031.91	15093.00	13479.79	17155.35
固体废弃物的占用空间 t/a	4791.82	4872.67	2698.57	3022.60	4943.67
化石燃料消耗 t/a	664.18	736.05	959.51	1020.04	1099.45
非化石燃料消耗 t/a	477.42	477.42	477.42	477.42	477.42
雾霾聚集影响 t/a	40.46	43.25	63.25	52.52	68.15
大气酸化影响 t/a	14.62	15.69	21.21	19.68	24.23
水体富营养化影响 t/a	5.07	3.98	3.98	3.20	3.20
水质影响 t/a	14.62	14.76	15.28	14.73	16.34
光化学烟雾影响 t/a	0.35	0.37	0.51	0.45	0.58
致癌和非致癌物质影响 t/a	0.24	0.25	0.36	0.31	0.40

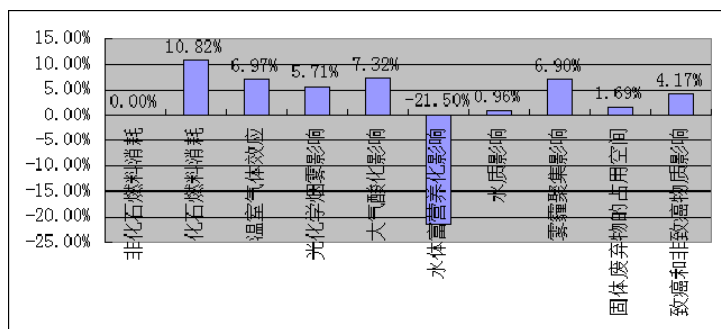


图 4.34 李家沱污水处理厂各个环境影响因素加权后升级改造对环境的变化量

Fig. 4.34 The change on weighted environment upgrade various environment factors of Li Jia Tuo sewage treatment plant

如图 4.34 所示：化石燃料消耗、温室气体效应、光化学烟雾影响、大气酸化影响、水质影响、雾霾聚集影响、固体废弃物的占用空间、致癌和非致癌物质影响都比升级改造前增加了；水体富营养化影响比升级改造前下降了；非化石燃料消耗未发生变化。

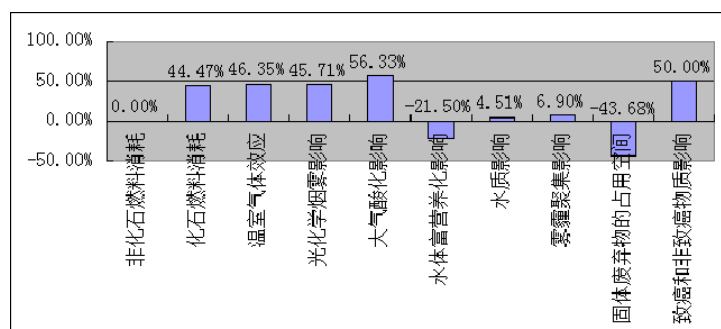


图 4.35 A²/O 工艺各个环境影响加权后与升级改造前工艺相比的变化

Fig. 4.35 Changes of A²/O and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the weighted environmental impact

如图 4.35 所示：化石燃料消耗、温室气体效应、光化学烟雾影响、大气酸化影响、水质影响、雾霾聚集影响、致癌和非致癌物质影响都比升级改造前增加了；水体富营养化影响、固体废弃物的占用空间比升级改造前下降了；非化石燃料消耗未发生变化。

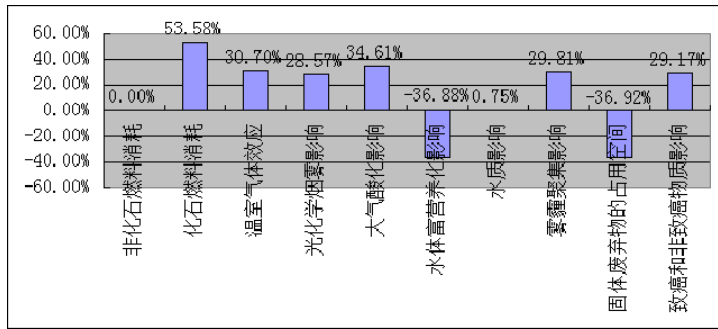


图 4.36 A-A²/O 工艺各个环境加权后与升级改造前工艺相比环境变化的影响

Fig. 4.36 Changes of A-A²/O and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the weighted environmental impact

如图 4.36 所示：化石燃料消耗、温室气体效应、光化学烟雾影响、大气酸化影响、水质影响、雾霾聚集影响、致癌和非致癌物质影响都比升级改造前增加了；水体富营养化影响、固体废弃物的占用空间比升级改造前下降了；非化石燃料消耗未发生变化。

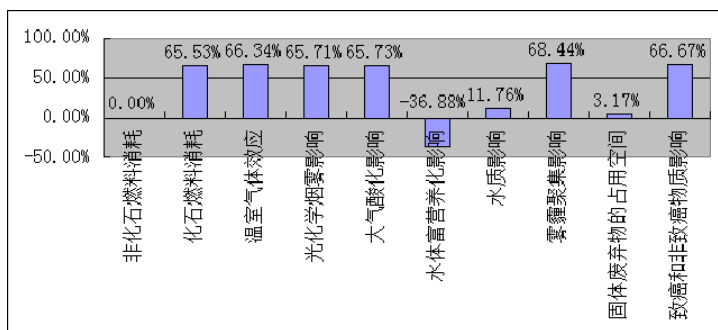


图 4.37 T 型氧化沟各个环境影响因素加权后与升级改造前工艺相比环境变化的影响

Fig. 4.37 Changes of oxidation ditch and the upgrading of Li Jia Tuo sewage treatment plant before the treatment process compared with the environmental impact

如图 4.37 所示：化石燃料消耗、温室气体效应、光化学烟雾影响、大气酸化影响、水质影响、雾霾聚集影响、固体废弃物的占用空间、致癌和非致癌物质影响都比升级改造前增加了；水体富营养化影响比升级改造前下降了；非化石燃料消耗未发生变化。

4.6 结果解释

4.6.1 问题识别

问题识别通常是确定研究目的和范围以及在评价过程中各要素之间的相互作用对清单分析和影响评价的结果进行组织和分析，以便对问题进行识别。通常包括信息识别和组织与问题确定两个步骤。

①信息的识别和组织

通过李家沱污水处理厂升级改造前后生命周期过程分析可以看出，污水处理厂升级改造后与升级改造前相比对环境的影响，温室气体效应增加了 6.97%、化石燃料消耗增加了 8.81%、光化学烟雾影响增加了 6.81%、大气酸化影响增加了 7.33%、雾霾聚集影响增加了 6.90%、固体废弃物的占用空间影响增加了 1.69%、致癌和非致癌物质影响增加了 4.17%，但是水体富营养化下降了 21.55%。

设计的三个工艺，分别为 A²/O、A-A²/O、T 型氧化沟工艺。

A²/O 工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 46.35%、化石燃料消耗增加了 45.04%、光化学烟雾影响增加了 47.64%、大气酸化影响增加了 45.10%、雾霾聚集影响增加了 56.43%、致癌和非致癌物质影响增加了 50.00%，但是水体富营养化下降了 21.55%、固体废弃物的占用空间影响下降了 43.68%。

A-A²/O 工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 30.70%、化石燃料消耗增加了 53.58%、光化学烟雾影响增加了 29.35%、大气酸化影响增加了 34.66%、雾霾聚集影响增加了 29.81%、致癌和非致癌物质影响增加了 29.17%，但是水体富营养化下降了 36.99%、固体废弃物的占用空间影响下降了 36.92%。

T 型氧化沟工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 66.34%、化石燃料消耗增加了 65.53%、光化学烟雾影响增加了 66.49%、大气酸化影响增加了 65.75%、雾霾聚集影响增加了 68.45%、致癌和非致癌物质影响增加了 66.67%、固体废弃物的占用空间影响上升了 3.17%。但是水体富营养化下降了 36.96%。

1) 污水厂升级改造前工艺与升级改造后工艺信息识别

污水厂升级改造后总体上增加了对环境的影响，其中温室气体效应、化石燃料消耗、光化学烟雾影响、大气酸化影响、雾霾聚集影响、固体废弃物的占用空间影响、水质影响、致癌和非致癌物质都增加了，这是由于工艺改造后加入了高速纤维滤池，设备中的反洗泵和反洗风机需消耗额外电能而造成的；水体富营养化影响下降了、非化石燃料消耗未发生变化。

2) 污水厂升级改造前工艺与 A²/O 工艺信息识别和组织

污水厂采用 A²/O 工艺总体上增加了对环境的影响, 填埋空间影响比升级改造前工艺显著地减小, 这是由于好氧消化池的设立, 但是温室气体效应、化石燃料消耗、光化学烟雾影响、大气酸化影响、雾霾聚集影响、水质影响、致癌和非致癌物质影响都增加了, 这是由于电耗增加而导致的; 水体富营养化影响下降了、非化石燃料消耗未发生变化。

3) 污水厂升级改造前工艺与 A-A²/O 工艺信息识别和组织

污水厂采用 A-A²/O 工艺总体上增加了对环境的影响, 填埋空间影响比升级改造前工艺显著地减小, 这是由于消化池的设立, 但是温室气体效应、化石燃料消耗、光化学烟雾影响、大气酸化影响、雾霾聚集影响、水质影响、致癌和非致癌物质影响都增加了, 这是由于电耗增加而导致的; 水体富营养化影响下降了、非化石燃料消耗未发生变化。

4) 污水厂升级改造前工艺与 T 型氧化沟工艺信息识别和组织

污水厂采用 T 型氧化沟工艺显著增加了对环境的影响, 其中温室气体效应、化石燃料消耗、光化学烟雾影响、大气酸化影响、雾霾聚集影响、固体废弃物的占用空间影响、水质影响、致癌和非致癌物质影响都增加了, 这是由于电耗大幅增加而导致的; 水体富营养化影响下降了、非化石燃料消耗未发生变化。

② 问题确定

通过对污水处理厂升级改造前后工艺以及设计的三个工艺信息识别和组织可以看出, 升级改造后工艺、A²/O 工艺、A-A²/O 工艺和 T 型氧化沟工艺对温室气体效应、化石燃料消耗、光化学烟雾影响、大气酸化影响、雾霾聚集影响、致癌和非致癌物质影响比升级改造前影响较大, 需在污水厂运行阶段对污水处理厂各个处理单元电能的消耗进行节能控制; A²/O 和 A-A²/O 工艺反而降低了固体废弃物占用空间的影响, 但是以付出额外电耗而获得的, 所以需在剩余污泥的产生量与电耗之间寻找最优系数(以最小的电耗产生较少的剩余污泥量)。

4.6.2 评估

本次工程案例对研究目的和范围界定阶段、清单分析阶段和影响评价阶段进行了评估。

① 研究目的和范围阶段评估

根据生命周期评价的要求, 本文将污水处理厂的生命周期阶段界定为升级改造前阶段和升级改造后阶段。

升级改造前阶段(建设阶段、污水处理、出水排放及污泥处理阶段)和升级改造后阶段(建设阶段、污水处理、出水排放及污泥处理阶段)两个部分, 研究目的和范围明确, 为清单分析和影响评价提供了良好的基础。

② 清单分析阶段评估

清单分析是对生命周期内的数据收集和分析，是整个生命周期评价的基础。本研究在对污水处理厂升级改造前后阶段进行分析时，其输入项主要为不可再生资源（煤和石油）、可再生资源（水）、建筑材料（混凝土、钢筋），输出项主要为废气（ CO_2 、 CO 、 CH_4 、 NO_x 、 CH 、 SO_2 ）、废水（ COD 、 SS 、 TP 、 TN ）和固体废弃物。本研究在对输入和输出数据进行收集时，升级改造前阶段数据通过对污水处理厂运行过程的实际监测获得，数据准确确定较高；升级改造后阶段数据通过对相关工艺类比调查获取，数据可信度较高。总体而言，清单数据可信度较高，符合相关数据分析的要求。

③影响分析阶段评估

本研究在对污水处理厂整个生命周期内的输入和输出数据进行环境影响评价时，对不同的环境影响类别进行赋权和量化，特征化采用美国 EPA 公布的评价模型，赋权采用层次分析法，最终得到污水处理厂升级改造前后对环境的综合影响，得到的结论比较真实，能够反映污水处理厂的实际情况。

4.6.3 生命周期结果及改善分析

①生命周期结果

本文采用生命周期评价的方法对污水处理厂升级改造前后阶段内的环境影响负荷进行对比分析，通过采用美国 EPA 公布的环境影响计算方法和模型进行特征化，九标标度法和层次分析法计算权重，结果如下：

污水处理厂升级改造后与升级改造前相比对环境的影响，温室气体效应增加了 6.97%、化石燃料消耗增加了 10.82%、光化学烟雾影响增加了 5.71%、大气酸化影响增加了 7.32%、雾霾聚集影响增加了 6.90%、固体废弃物的占用空间影响增加了 1.69%、致癌和非致癌物质影响增加了 4.17%，但是水体富营养化下降了 21.50%。

设计的三个工艺，分别为 A^2/O 、 $\text{A}-\text{A}^2/\text{O}$ 、T 型氧化沟工艺。

A^2/O 工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 46.35%、化石燃料消耗增加了 44.47%、光化学烟雾影响增加了 45.71%、大气酸化影响增加了 56.33%、雾霾聚集影响增加了 6.90%、致癌和非致癌物质影响增加了 50.00%，但是水体富营养化下降了 21.50%、固体废弃物的占用空间影响下降了 43.68%。

$\text{A}-\text{A}^2/\text{O}$ 工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 30.70%、化石燃料消耗增加了 53.58%、光化学烟雾影响增加了 28.57%、大气酸化影响增加了 34.61%、雾霾聚集影响增加了 29.81%、致癌和非致癌物质影响增加了 29.17%，但是水体富营养化下降了 36.88%、固体废弃物的占用空间影响下降了 36.92%。

T 型氧化沟工艺与升级改造前工艺相比对环境的影响，温室气体效应增加了 66.34%、化石燃料消耗增加了 65.53%、光化学烟雾影响增加了 65.71%、大气酸化影响增加了 65.73%、雾霾聚集影响增加了 68.44%、致癌和非致癌物质影响增加了 66.67%、固体废弃物的占用空间影响上升了 3.17%。但是水体富营养化下降了 36.88%。

通过对污水处理厂升级改造前后过程问题识别可以发现，对污水处理厂环境影响贡献较大的影响因子为： CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、 CH_4 、煤、石油、固体废弃物等。这些影响因子主要电的生产、剩余污泥处理等过程产生。

②改善分析

污水处理厂升级改造后比升级改造前对环境的影响大，是由于温室气体效应、化石燃料消耗、非化石燃料消耗和固体废弃物的占用空间消耗所造成的环境负荷过大，针对污水处理厂升级改造过程本研究提出如下改进措施：

1) 合理选择消化池

李家沱污水处理厂升级改造前过程产生剩余污泥 12720/a，是污水处理厂升级改造前过程对填埋空间消耗的主要影响因子，目前的处理方法为通过车辆运输到长生桥垃圾填埋场进行卫生填埋。而设立消化池的 A^2/O 、 $\text{A}-\text{A}^2/\text{O}$ 工艺大幅降低了剩余污泥量，降低了填埋空间消耗。所以，李家沱污水处理厂升级改造后过程建议设置消化池。

2) 慎重选择增加的处理单元

增加的处理单元需消耗电能，产生额外的污染物质，因此，在选择处理单元时，可考虑能到达相关要求并且电耗较小的设备。

5 结论及建议

5.1 结论

本文按照 ISO14040-2006 和 GB24044-2008 中有关生命周期评价的要求,对重庆市李家沱城市污水处理厂升级改造前后的过程进行了生命周期分析,得到了该污水处理厂升级改造前后过程环境影响负荷的综合水平。为未来污水处理厂升级改造的工艺选择的提供理论支持。主要结论如下:

用生命周期评价法对李家沱污水处理厂 5 个工艺在不同目标浓度下的环境影响。结果表明,水体富营养化潜能随着处理水平的提高而降低,从一级排放 B 标到一级排放 A 标,下降了 21.50%;但是,大气酸化、温室气体、化石燃料消耗、固体废弃物占用空间、雾霾聚集、光化学烟雾随着处理水平的提高呈现增加的趋势,致癌和非致癌物质影响随着高耗能处理技术的使用也在增加。温室气体效应从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 6.97%,主要由于电耗;化石燃料消耗从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 10.82%;固体废弃物占用空间从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 1.69%;雾霾聚集从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 2.79%;大气酸化从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 7.32%;光化学烟雾从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 5.71%;致癌和非致癌物质从一级排放 B 标到一级排放 A 标,增加了 4.17%。

5.2 存在的问题及建议

①由于条件限制,对李家沱污水厂所收集的收据只是其未达到满负荷运行数据,未来应收集李家沱污水厂进行满负荷运行的数据。

②由于本论文对污泥的数量统计是通过查阅文献和现场调研估算获得,因此这一领域未来的工作必须对污泥处理过程的模型化,因为其也可能是对环境造成影响的一个来源,以及化学物质和原材料的运输。

③另外一个需要考虑的是各个处理水平工艺所产生的污染物和个人化妆品在污水中所占浓度,药品、化妆品和主要污染物的排放对受纳水体水质的影响。

④调查污水厂地理位置可变性的结果,在 LCA 中需修改地理位置输入清单,以满足达到目标浓度的当地生命周期评价来说明当地的政策。通过对不同处理水平的污水处理工艺的生命周期评价,帮助我们得到随着污水处理技术的提升其可能对环境造成直接和间接的影响。

致 谢

本论文的研究工作是在我的恩师姜文超副教授的精心指导和悉心关怀下完成的。感谢您在三年的研究生过程中，您给予我在学习和生活上的不少指导，每当在求学过程中遇到困难而且在我面临人生困惑的迷茫之际，给我无尽的鼓励和支持，耐心的指导和帮助我去解决问题。您渊博的知识、严谨的治学态度、分析问题的独到见解、正直的人格魅力和无私的奉献精神令我钦佩，并以您作为我的榜样。在此，谨向姜老师表示我最诚挚的敬意和感谢！

其次，在相关资料的收集及调研过程中，重庆市大渡口污水处理厂的陈厂长和李家沱污水处理厂的罗经理给予了极大地帮助，在此致以深深的谢意。

感谢城环学院所有教导过我、关心过我的老师们。

感谢我的四位同门——范日飞、陈正挺、宋贞、肖敦宇，谢谢你们的鼓励和帮助。感谢课题组的师弟师妹们，谢谢你们的帮助。

感谢我的家人，你们是我三年求学生活的坚强后盾。

最后，衷心感谢评阅和参加答辩的各位老师们在百忙之中为我审阅论文，为我指点迷津。

杨 帆

二〇一四年四月于重庆

参考文献

- [1] 王晓昌, 吉倩倩. 生命周期评价在城市污水处理的环境效益的分析中的应用[D], 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
- [2] 羊寿生. 城市污水厂的能源消耗, 给水排水[J]. 给水排水, 1984, (6): 15-19.
- [3] 宋佳杰, 张韵. CASS 工艺中曝气系统节能技术探讨[J], 中国给水排水, 2009, 35(增刊): 67-72.
- [4] 郑泽根, 余建朋. 三峡库区城市污水处理厂全过程生命周期评价及其应用研究[D], 重庆: 重庆大学, 2009.
- [5] 王晓昌, 曹冰. 污水处理工程能耗成本与环境效益生命周期评价[D], 西安, 西安建筑科技大学, 2010.
- [6] 王涛, 熊艾玲. 城市污水处理工艺的生命周期能耗分析及节能试验研究[D], 重庆, 重庆大学, 2004.
- [7] 郑泽根, 周凌. 城市污水处理厂环境效益的生命周期分析[D], 重庆: 重庆大学, 2006.
- [8] 樊庆铎, 梁松. 基于 LCA 的城市污水处理厂环境影响负荷研究[D], 哈尔滨, 哈尔滨工业大学, 2012.
- [9] 曹文志, 林璐. 基于生命周期评价方法的九龙江流域污水处理厂综合评价研究[D], 厦门: 厦门大学, 2008.
- [10] 徐得潜, 孟祥宇. 污水处理厂的生命周期评价[D], 合肥, 合肥工业大学, 2009.
- [11] 刘少武, 周娇, 张智. 重庆地区冬季 CAST 工艺的启动与试运行[J], 中国给水排水, 2008, 24(24): 97-99.
- [12] 金昌权, 汪诚文. 污水处理厂能耗分析[J], 水科技, 2009(3): 53-55.
- [13] 阳春, 袁克品. 基于基因分析的 CAST 工艺应对水质冲击运行调控的中试实验研究[D], 重庆, 重庆大学, 2013.
- [14] 高康宁, 曹会勇, 王进等. 华北地区某污水处理厂升级改造工程实例[J], 河北工业科技, 30(4): 286-290.
- [15] 樊庆铎, 赵晶晶. 城市污水处理厂生命周期评价体系构建[D], 哈尔滨, 哈尔滨工业大学, 2008.
- [16] 金文杰, 杨丹丹. 污水处理厂能耗分析方法[J], 环保科技, 2012, 18(02): 18-20.
- [17] 金昌权, 汪诚文等. 污水处理厂能耗特征分析方法与节能途径探讨[J], 中国给水排水, 2009, 35(增刊): 270-274.
- [18] 胡尧良. 环境负荷—ICI 公司环境评价的新指标[J], 环境导报, 1999, 2: 29-31.
- [19] 杨健, 王浩. 污水处理技术生命周期分析基本概念初探[J]. 四川环境, 2003, 22(5):

22-24.

- [20] 姜金龙, 吴玉萍. 生命周期评价的技术框架及研究进展[J]. 兰州理工大学学报, 2005, 31(4): 23-26.
- [21] 于随然, 陶璟. 产品全生命周期设计与评价[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [22] 夏训峰, 张军, 席北斗. 基于生命周期的燃料乙醇评价及政策研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [23] 室外排水设计规范 GB50014-2006[M]. 北京: 中国计划出版社, 2011.
- [24] 张辰, 李春光. 污水处理厂改扩建设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [25] 污水处理工艺及工程方案设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [26] 张自杰, 顾夏声. 排水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [27] 王小兵, 邓南圣. 生命周期评价[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [28] 黄春林, 张建强, 沈淞涛. 生命周期评价综论[J]. 环境技术, 2004(1)
- [29] 樊庆铎, 敖红光, 孟超. 生命周期评价[J]. 环境科学与管理, 2007:32(6)
- [30] 刘忠文. ISO14040 生命周期评价概述[J]. 环境导报, 1998, 1
- [31] 韩润平, 魏爱卿, 陆雍森. 环境影响评价的工具-生命周期评价[J]. 郑州大学学报(理学报), 2003, 35(2):83-88.
- [32] 伍跃辉, 陈爱燕, 王震等. 聚氯乙烯生产过程生命周期评价[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(5)
- [33] Benetto, Enrico, Dujet, Christiane. Integrating fuzzy multicriteria analysis and uncertainty evaluation in life cycle assessment[J]. Environmental Modelling and Software, 2008, 23(12): 1461-1467.
- [34] Lundin M, Morrisson GM. A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems[J]. Urban Water, 2002, 4: 145-152.
- [35] Pennington DW, Potting J, Finnveden Getal. Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice[J]. Environ Int, 2004, 30(5): 721-739.
- [36] J. Dennison, A. Axapagic, R. Clir and J. S. Colboume. Assessing Management Options for Wastewater Treatment Works in the Context of Life Cycle Assessment[J]. Wat. Sci. Tech. , 1998, 11(38): 23-30.
- [37] Ingemar Karlsson. Environmental and energy efficiency of different sewage treatment process[J]. Wat. Sci. Tech. , 1996, 34(3-4): 203-211.
- [38] 袁宝荣, 聂祚仁, 狄向华, 等. 中国化石能源生产的生命周期清单——生命周期清单的编制结果[J]. 现代化工, 2006, 4(26)
- [39] 李小东, 王帅, 孔祥琴等. 预拌混凝土生命周期评价[J]. 土木工程学报, 2011, 1(44)

- [40] 杨建新, 刘炳江. 中国钢材生命周期清单分析[J]. 环境科学学报. 2002. 4(22)
- [41] 狄向华, 聂祚仁, 左铁镛. 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. 中国环境科学. 2005. 25(5)632-635
- [42] 王祎, 项乔君, 常玉林, 等. 城市交通系统能源消耗与环境影响分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [43] 李伟, 傅立新, 郝吉明, 等. 中国道路机动车 10 种污染物的排放量[J]. 城市环境与城市生态. 2003, 16(2).
- [44] 江苏省住房和城乡建设厅. 江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [45] 褚俊英, 陈吉宁等. 我国城市污水处理厂投资效率的定量分析[J]. 中国给水排水, 2002, 18(3): 27-29.
- [46] 张辰, 谭学军. 城镇污水处理厂升级改造问题探讨[C]. 2008 年给水厂、污水处理厂运行与管理及升级改造高级研讨会论文集. 2008.
- [47] 秦怀东, 邵文卿. 污水处理厂泵站与曝气系统的节能途径[J]. 山西煤炭, 2000, 20(4): 24-26.
- [48] 石丹丹. 我国城市污水处理厂升级改造的现状和对策[J]. 水工业市场, 2009(10): 34-36.
- [49] Sheikh M.Rahman, Annalisa Onnis-Hayden. Environmental Impact Assessment of Wastewater treatment plants to remove Nitrogen and Phosphorous from municipal wastewater: An application of Life Cycle Assessment Methodology[J]. 2012.
- [50] Anne-Marie Tillman, Mikael Svingby, Henrik Lundstrom. Life Cycle Assessment of Municipal Waste Water Systems [J]. LCA Case Studies. 1998, 3(3), 145-157.
- [51] Alsina X F, Gallego A, Feijoo G. Multiple-objective evaluation of wastewater treatment plant control alternatives [J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91:1193-1201.
- [52] Doka, G.(2009). Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. ecoinvent Report No. 13. Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dubendorf.
- [53] Lassaux, S, Renzoni, R, & Germain, A. (2007). Life Cycle Assessment of Water: From the pumping station to the wastewater treatment plant. International Journal of Life Cycle Assessment, 12(2), 118-126.
- [54] Bravo, L, & Ferrer, I. (2011). Life Cycle Assessment of an intensive sewage treatment plant in Barcelona (Spain) with focus on energy aspects. Water Science and Technology, 64(2), 440-447.
- [55] Rodriguez-Garcia, G, Molinos-Senate, M, Hospido, A, Hernandez-Sancho, F, Moreira, M. T & Feijoo, G. (2011). Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. Water Research, 45(18), 5997-6010.

- [56] Falk, M. W, Neething, J, & Reardon, D.J.(2011). Striking the Balance Between NutrientRemoval in Wastewater Treatment and Sustainability: Water Environmental ResearchFoundation.
- [57] Almudena Hospido, M Teresa Moreira, Maria Martin, etal. Environmental Evaluation of Different Treatment Processes for Sludge from Urban Wastewater Treatnebts: Anaerobic Digestion versus Thermal Processes [J]. Int J LCA. 2005:10(5)336-345.
- [58] N. Tangsubkul, P. Beavis, S.J.Moope, etal. Life Cycle Assessment of Water RecyclingTechnology [J]. Water Resources Management 2005(19):521-537.
- [59] Stephane Lassaux, Robert Renzoni, Albert Germain. Life Cycle Assessment of Water from thePumping Station to the Waste Water Treatment Plant [J]. Water Management. 2007, 12(2)118-126.
- [60] Mohamed Taefic Ahmed. Life Cycle Assessment, A Decision Making Tool in WastewaterTreatment Facilities [J]. Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision Making andEnvironment Security. 2007, 305-314.
- [61] Ortiz M, Raluy RG, Serra L. Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town [J]. Desalination, 2007, 24: 121-131.
- [62] Almudena Hospido, Ma Teresa, Gumersindo Feijoo.A Comparison of Municipal Wastewater Treatment Plants for Big Centres of Population in Galicia (Spain)[J]. LCA Case Studies-Wastewater Treatment Plants.2008, 57-64.
- [63] Adriana Del Borghi, Michela Gallo, Marco Del Borghi.A Survey of Life Cycle approached inwaste management [J] .Life Cycle Assess. 2009, 14:597-610.
- [64] Foley J, Haas D, Hartley K, et al. Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems [J]. Water Research, 2010, 44: 1654-1666.
- [65] Margareta Lundin, Gregore Morrison. A Life Cycle Assessment Based Procedure for Development of Environmental Sustainability Indicators for Urban Water Systems [J]. Urban Water. 2002(4):145-152.
- [66] ISO14040-2006 Environmental management-Life cycle assessment—Principles and Framework.
- [67] ISO14044-2006 Environmental management-Life cycle assessment—Requirements andguidelines.
- [68] 樊庆铎, 敖红光, 孟超.生命周期评价.环境科学与管理. 2007, 32(6): 177~180.
- [69] 王小兵, 邓南圣. 生命周期评价.[M]. 北京: 化学工业出版社. 2003.
- [70] “十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划.[Z]. 北京, 2012.
- [71] 潘禄婷、屠晓青等. 改良厌氧 / 缺氧 / 好氧脱氮除磷工艺处理城镇污水. [J]. 中国给水

- 排水, 2007, 23(22): 61-63.
- [72] 郑秀君, 胡彬.我国生命周期评价(LCA)文献综述及国外最新研究进展[J].科技进步与对策, 2013, 30(6): 156-160.
- [73] 孙启宏, 万年青, 范与华. 国外生命周期评价(LCA)研究综述[J].环境管理, 2000, 12: 24-31.
- [74] 魏丽, 王瑛.基于 AHP 的模糊灰色耦合理论在污水处理工艺优化设计中的应用研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009: 7-19.
- [75] E. Patrick, W. Laurence. Application of Analytic Hierarchy Process Techniques to Stream lined Life-Cycle Analysis of Two Anodizing Processes[J]. Environ. Sci. Technol, 1999, 33: 1495-1500.
- [76] 曹华林. 产品生命周期评价(LCA)的理论及方法研究[J]. 西南民族大学学报, 2004, 25(2).
- [77] 稻菜敦. Sustainability LCA 的动向[c]. 东京: 日本 LCA 学会研究会第 4 回研究会(内部会议资料). 2012: 1-11.
- [78] The International Institute for Sustainable Development. Global Green Standards: ISO14000 and Sustainable Development, Canada, 1996.
- [79] MaryAnn Curran. Environmental Life-Cycle Assessment. The United States of America McGraw-Hill Companies, inc, 1996, Chapter 11: 1-1 2.
- [80] 王寿兵. 生命周期评价方法及进展[J]. 上海环境科学, 1998, 17(11): 7-10.
- [81] 孙启宏, 万年青. 国外生命周期评价(LCA)研究综述[J]. 世界标准化及质量管理, 2000, 12(12): 24-31.
- [82] 环境管理生命周期评价—要求与指南 GB/T24044-2008[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008。
- [83] Karlsson I. Environmental and energy efficiency of different sewage treatment processes[J]. War. Sci. Tech, 1996, 34(3-4): 203-211.
- [84] Hagan R M, Ronerts E B. Energy Requirements for Wastewater Treatment(Part2)[J]. Water&Sewage Works, 1976, (11): 52-57.

附 录

作者在攻读学位期间参加的科研项目及取得的成果

- [1] 姜文超, 蒋晖, 陈正挺, 杨帆, 宋贞, 范日飞, 肖敦宇.实用新型专利:可预测和预警管道腐蚀深度的多层复合管道. 专利号 ZL201220233764. 1. 已授权.
- [2] 杨帆. 我国环境影响评价制度的完善研究. 城市建设理论研究. 2014. 4(10): 58.