

单位代码:10010

学 号:2007000666



北京化工大学

硕士研究生学位论文

题 目 工程机械生命周期评价研究

及其软件的设计开发

专 业 控制科学与工程

研 究 生 金美灵

指导教师 楚纪正 研究员

XW3802-28

日 期: 二〇一〇 年 五 月 二 十 四 日

北京化工大学

硕士研究生学位论文

题 目 工程机械生命周期评价研究及其
软件的设计开发

研 究 生 金美灵

专 业 控制科学与工程

指导教师 楚纪正 研究员

日 期: 二〇一〇年四月二十日

北京化工大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

作者签名： 金美灵 日期： 2010.5.23

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京化工大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京化工大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

保密论文注释：本学位论文属于保密范围，在 2 年解密后适用本授权书。非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

作者签名： 金美灵 日期： 2010.5.23

导师签名： [Signature] 日期： 2010.5.23

学位论文数据集

中图分类号	TP31	学科分类号	520.6099	
论文编号	1001020100666	密 级	公开	
学位授予单位代码	10010	学位授予单位名称	北京化工大学	
作者姓名	金美灵	学 号	2007000666	
获学位专业名称	控制科学与工程	获学位专业代码	081101	
课题来源	国家计委、科委项目	研究方向	计算机技术应用	
论文题目	工程机械生命周期评价研究及其软件的设计开发			
关 键 词	工程机械, 生命周期评价, 节能减排, 评价模型, 评价系统			
论文答辩日期	2010.5.22	* 论 文 类 型	应用研究	
学位论文评阅及答辩委员会情况				
	姓名	职称	工作单位	学科专长
指导教师	楚纪正	研究员	北京化工大学	过程建模与仿真
评阅人 1	曹柳林	教授	北京化工大学	流程工业的建模与控制
评阅人 2	施大鹏	高级工程师	清华大学	自动化建模
评阅人 3				
评阅人 4				
评阅人 5				
答辩委员会主席	曹柳林	教授	北京化工大学	流程工业的建模与控制
答辩委员 1	王晶	副教授	北京化工大学	先进过程控制
答辩委员 2	夏涛	副教授	北京化工大学	计算机仿真系统
答辩委员 3	祝海江	副教授	北京化工大学	计算机视觉
答辩委员 4	王友清	教授	北京化工大学	智能机器人
答辩委员 5				

- 注：一. 论文类型：1. 基础研究 2. 应用研究 3. 开发研究 4. 其它
 二. 中图分类号在《中国图书资料分类法》查询。
 三. 学科分类号在中华人民共和国国家标准 (GB/T 13745-9)《学科分类与代码》中查询。
 四. 论文编号由单位代码和年份及学号的后四位组成。

工程机械生命周期评价研究及其软件的设计开发

摘要

在资源短缺严重和生态环境恶化的今天, 生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 作为一种国际公认的生态与环境管理工具, 已成为国内外科研机构、组织和公司竞相研究的热点。工程机械产业作为制造业的重要行业, 每年消耗大量的能源和材料, 排放大量污染物。因此, 工程机械产业如何获得最好的节能降耗减排效果, 是目前亟需解决的问题。

本文在深入研究了 LCA 理论和方法的基础上, 充分考虑了产品的材料消耗、能源消耗和环境影响, 建立了适用于工程机械产业的生命周期评价指标体系。结合工程机械的特点, 提出工程机械生命周期评价 (Life Cycle Assessment of Construction Machinery, CMLCA) 的一般模型。对目标确定的方法、评价范围、整合评价模型等问题进行了详细的论述。并就如何增强生命周期评价方法在 CMLCA 中的可操作性进行研究和论述。

本文的另一部分工作是结合前面研究的理论和方法, 利用 Visual Studio2005 (C#) +SQL Server 技术, 设计和开发了工程机械生命周期评价系统 (计算机软件著作权: 登字第 0151968)。从评价系统的需求分析, 功能、界面、数据库、整体框架设计, 以及软件主要功能模块的实现这三方面进行详细的论述, 并实例说明了系统的应用价值。

关键词: 工程机械, 生命周期评价, 节能减排, 评价模型, 评价系统

LCA STUDY OF CONSTRUCTION MACHINERY AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE

ABSTRACT

With the excess consumption of resources and the deterioration of the environment, as an internationally recognized ecological and environmental management tools, LCA (Life Cycle Assessment) has been a research field in which many research institutions, organizations and companies in the world are interested. It's exigent and important to carry out research on LCA of construction machinery industry, which consume plenty of resources and produce plenty of wastes every year.

On the basis of further studying LCA theories and methods, the paper builds up an indicator architecture of LCA for construction machinery. Properties of source, energy and environment are all got consideration in it. According to characteristic of construction machinery, the paper establishes a LCA model for construction machinery (CMLCA). On the basis of the model, it discusses how to enhance operability and how to define goals and scope of CMLCA.

Making full use of the theories and methods above, the paper designs and develops a software system for CMLCA (Computer Software Copyright, ID:

0151968) by application of Visual C# 2005 and SQL Server 2005 technologies. The requirement analysis, overall design and development of main modules are explained. Finally, an example is included to demonstrate the availability of the developed software.

KEY WORDS: construction machinery, Life Cycle Assessment(LCA), energy-saving and contamination-reducing, assessment mould, assessment system

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 日渐严重的环境问题.....	1
1.1.2 工程机械与环境的关系.....	3
1.2 国内外研究状况.....	5
1.2.1 LCA 国际研究机构.....	5
1.2.2 企业的应用情况.....	6
1.2.3 国内外环境标志认证.....	6
1.2.4 国内外生命周期评价软件的开发情况.....	9
1.3 课题的提出及研究意义.....	11
1.4 课题来源.....	12
1.5 论文主要研究内容.....	12
第二章 生命周期评价概述	15
2.1 生命周期评价的基本概念.....	15
2.1.1 LCA 的定义.....	15
2.1.2 LCA 的特点.....	15
2.2 LCA 的发展过程.....	15
2.3 LCA 的技术框架.....	17
2.3.1 目标与范围的确定.....	18
2.3.2 清单分析.....	19
2.3.3 影响评价.....	20
2.3.4 结果解释.....	21
2.4 LCA 的分类及评估方法.....	21
2.5 生命周期评价与其他环境管理工具的比较.....	22
第三章 工程机械生命周期分析模型	23
3.1 工程机械的生产模型.....	23
3.2 工程机械 LCA 的可操作性.....	24
3.3 工程机械的 LCA 模型.....	24

3.3.1 CMLCA 目标的确定	24
3.3.2 CMLCA 范围的确定	25
3.3.3 CMLCA 的整合评价模型	25
第四章 CMLCA 系统的设计和开发	31
4.1 开发环境及基本架构.....	31
4.1.1 C#语言	31
4.1.2 Visual Studio 2005	32
4.1.3 SQL Server 2005 Express	32
4.1.4 C/S 体系结构.....	33
4.2 评价系统的需求分析.....	34
4.2.1 软件介绍.....	34
4.2.2 软件总体目标.....	35
4.2.3 软件的数据概述.....	35
4.2.4 软件的功能需求.....	36
4.2.5 软件的性能需求.....	36
4.2.6 软件的其他需求.....	37
4.2.7 软件的操作环境.....	37
4.2.8 软件应达到的技术性能.....	37
4.3 评价系统的设计.....	39
4.3.1 评价系统功能设计.....	39
4.3.2 评价系统界面设计.....	40
4.3.3 数据库设计.....	46
4.3.4 整体框架设计.....	49
4.4 评价系统的实现.....	52
4.4.1 前台操作模块的实现.....	52
4.4.2 后台数据管理模块的实现.....	62
4.4.3 辅助功能模块的实现.....	65
4.5 本章小结.....	66
第五章 CMLCA 的实例应用	67
5.1 连杆概述.....	67
5.1.1 连杆的介绍.....	67

5.1.2 连杆的生产工艺.....	67
5.2 目的和范围的确定.....	69
5.3 连杆各阶段的清单分析.....	69
5.4 连杆 LCA 的影响评价.....	71
5.5 连杆 LCA 的解释说明.....	74
第六章 总结与展望.....	75
6.1 总结.....	75
6.2 展望.....	75
参 考 文 献.....	77
致 谢.....	81
研究成果及发表的学术论文.....	83
作者和导师简介.....	85

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.1.1 Increasingly serious environmental problems.....	1
1.1.2 The relationship between construction machinery and environment.....	3
1.2 Research at home and abroad.....	5
1.2.1 Research institutions & organizations of LCA	5
1.2.2 Enterprise applications	6
1.2.3 Environment symbol certification at home and abroad	6
1.2.4 The development of LCA Softwares at home and abroad	9
1.3 Target & significance of thesis.....	11
1.4 Project source.....	12
1.5 Main content of chapter	12
Chapter 2 A Summary of LCA.....	15
2.1 The concepts of LCA	15
2.1.1 The define of LCA	15
2.1.2 The feature of LCA	15
2.2 The history of LCA	15
2.3 Technical Framework of LCA.....	17
2.3.1 Goal Definition and Scoping.....	18
2.3.2 Inventory Analysis	19
2.3.3 Impact Assessment.....	20
2.3.4 Improvement Assessment	21
2.4 Classification of LCA and evaluation methods of LCA	21
2.5 Comparison of environmental management tools	22
Chapter 3 Life Cycle Assessment module of construction machines.....	23
3.1 Production model of construction machinery	23
3.2 Operability of LCA in construction machines	24
3.3 LCA module of construction machines	24

3.3.1 Goal Definition of CMLCA	24
3.3.2 Scoping of CMLCA	25
3.3.3 Assessment module of the LCA for construction machines	25

Chapter 4 Design and Development of CMLCA Software..... 31

4.1 Development environment and basic framework	31
4.1.1 C# programming language.....	31
4.1.2 Visual Studio 2005	32
4.1.3 SQL Server 2005 Express	32
4.1.4 C/S architecture.....	33
4.2 The requirement analysis of assessment software	34
4.2.1 Introduction of assessment software.....	34
4.2.2 Software target	35
4.2.3 A Summary of Software Data	35
4.2.4 Software function requirement.....	36
4.2.5 Software performance requirement.....	36
4.2.6 Other requirement	37
4.2.7 Software operation environment.....	37
4.2.8 The technical performances which Software should meet	37
4.3 CMLCA Software design.....	39
4.3.1 CMLCA Software function design	39
4.3.2 CMLCA Software interface design.....	40
4.3.3 Database design.....	46
4.3.4 Overall framework design.....	49
4.4 Software implement	52
4.4.1 Foregrounding operation module implement.....	52
4.4.2 Background data management module implement.....	62
4.4.3 Assistant function module implement.....	65
4.5 Summary	66

Chapter 5 Application example of CMLCA 67

5.1 A Summary of connecting rod	67
5.1.1 Introduction of connecting rod.....	67

5.1.2 production process of connecting rod	67
5.2 Goal Definition and Scoping of connecting rod LCA	69
5.3 Inventory Analysis of each stage in connecting rod LCA	69
5.4 Impact Assessment of connecting rod LCA.....	71
5.5 Improvement Assessment of connecting rod LCA	74
Chapter 6 Conclusion and Prospect.....	75
6.1 Conclusion	75
6.2 Prospect.....	75
Reference	77
Acknowledgement.....	81
Research achievement and published academic papers	83
Brief introduction of author and tutor	85

第一章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 日渐严重的环境问题

17世纪工业革命以来,人类科学技术迅猛发展,社会生产力得到了极大的提高,创造了空前繁荣的现代文明。然而,前所未有的物质财富创造所付出的代价是沉重而又惨痛的。

据英国《卫生》消息,人类已经消耗了三分之二的世界资源。过去40年中,人类从河流、湖泊中汲取的水量比过去翻了一番,人类现今消耗的地表水约占所有可利用淡水总和的40%-50%;二十世纪八十年代以来,世界上20%的珊瑚礁和35%的红树林已经不复存在,另有20%的珊瑚礁现已遭到非常严重的破坏;迄今为止,地球陆地表面24%的面积已经被人类开垦为耕地。森林、草原、沼泽、江河以及其他循环空气、水和营养物质的生态环境都已经遭到了不可挽救的破坏^[1]。

由于对自然资源的过度开发与利用,废气、废水、废物等污染物的大量排放,造成资源日益短缺、能源日益匮乏的同时,还造成了一系列生态环境问题:

(1)全球气候变暖:据统计,1981—1990年这十年间全球的平均气温比一百年之前升高了0.48℃。并且,预计到2100年,全球气温估计将上升大约1.4-5.8℃^[2]。因为全球气温不断升高,山区冰川将会不断后退,积雪区将会不断缩小,海平面将会不断上升,致使许多小岛和低洼地区消失,甚至会导致降水更加不均衡——即一些地区的降水会增加,而另一些地区的降水持续减少。以我国华北地区为例,从1965年起降水就连年减少。现在华北地区的降水量与上个世纪五十年代相比已经减少了1/3,水资源减少了1/2^[3]。

全球气候变暖的原因是多方面的,但是大气中二氧化碳排放量的增加是造成这一后果的根本原因。一项来自于国际能源机构的调查表明,美国、中国、俄罗斯和日本四个国家的二氧化碳排放量几乎占全球二氧化碳排放总量的一半。调查表明^[4],美国每年人均二氧化碳排放量约20吨,排放的二氧化碳占全球排放总量的23.7%,居世界首位。中国年人均二氧化碳排放量约为2.51吨,约占全球总量的13.6%。“发展低碳经济”势在必行。

(2)生命健康受到损害:2009年8月至9月,陕西凤翔、湖南武冈、福建龙岩三地,相继发生了千名儿童血铅中毒的事件。湖南省郴州卫生局提供数据显示,仅2010年3月17日-20日四天,该市就发现血铅含量超标儿童111人。一项刚刚发表的检测报告表明,深圳65%以上的青少年儿童血铅含量偏高。工业废水、废气特别是冶金加工排放的污染,室内墙壁含铅油漆,汽车尾气的排放,这些都是造成环境铅污染的主要原因。环境污染已经严重地损害了人们的生命健康。

(3)臭氧的耗竭: 臭氧可以吸收几乎全部 300 纳米以下波长的紫外辐射, 有效地避免了给地球上各种生物造成伤害。同时, 臭氧对全球气候的形成及调节起着重要作用。然而, 人类生产活动产生的大量氟氯烃化合物、氮氧化物及其他痕量气体正在使臭氧不断损害。有报告称^[4], 南极局部性臭氧耗竭率在某些高度超过 90%, 冬季甚至高达 99%, 在采集的部分大气样本中, 几乎完全没有臭氧。根据调查, 臭氧层浓度每减少 1%, 地面紫外光辐射将增加 2%, 导致皮肤癌发病率增加 2%-5%。臭氧的耗竭, 使地表的紫外光辐射增大, 会对人体免疫系统功能产生抑制作用, 还会对动植物产生影响, 甚至危及生态平衡。

(4)水体污染: 随着全球工业化生产的发展, 工业活动产生的大量废液、固体废物排入附近的江河湖海中。无机有害物如砂、土等颗粒状的污染物, 可以使水变浑浊。无机有毒物如氰化物 (CN)、砷 (As), 铜 (Cu)、汞 (Hg)、铬 (Cr) 等会使水体含有毒性, 让饮用的人中毒、生病。有机有毒物如农药 DDT、六六六等可以使水质变黑发臭, 甚至使水中鱼类及其他水生生物窒息而死。一份来自全球环境监测系统水质监测的报告表明^[2], 全球大约有 10% 的监测河水受到污染。我们国家的情况更为严重, 70% 的江河湖泊都受到不同程度的污染, 城市内 90% 的地下水存在不同程度的污染。

我国是个严重缺水的国家, 2009 年全年水资源总量 23763 亿立方米, 比上年减少 13.4%; 人均水资源 1784.9 立方米, 减少 13.8%。全年平均降水量 583.1 毫米, 减少 10.9%。年末全国大型水库蓄水总量 1805 亿立方米, 比上年末少蓄水 156 亿立方米。全年总用水量 5933 亿立方米, 比上年增加 0.4%。

2009 年秋至今, 我国云南、贵州、四川等西南地区遭遇了 100 年一遇的特大旱灾。以云南省为例, 严重的干旱已经造成全省 742 万人、459 万头大牲畜饮水困难。2010 年, 小麦播种面积 3700 万亩 (其中粮食 1770 万亩), 受灾面积 3148 万亩, 占已播种面积的 85%, 绝收超过 1000 万亩。预计全省的粮食将因灾减产 50% 以上, 甘蔗减产 20% 以上。

在水资源日趋短缺的情况下, 用水量正在急剧地增加, 水体污染规模也正在不断地扩大, 这就形成了新鲜淡水需求与供给的矛盾。由此可见, 水体污染的处理是目前亟需解决的问题。

(5)能源的枯竭: 当今的工业生产依然遵从以高投入、高消耗、高污染为代价谋求经济增长的粗放型方式。环境的承载能力远远不及社会生产对于资源、能源的消耗能力, 这就造成了能源的枯竭。英国石油公司最近发表报告指出^[5]: “世界已探明的石油储量约 12580 亿桶, 按 2008 年的产量计算够用 42 年, 天然气够用 60 年, 煤炭够用 122 年。”人类按照当前的能源消耗率和开采量, 地球上现在已探明的能源储藏, 仅仅能够维持大约一百年的时间。深层次的能源危机离我们并不遥远。

(6)大气污染: 随着工业化进程的推进, 大量有毒有害气体、粉尘排放到大气中, 造成了严重的污染。大气污染让人体罹患呼吸道疾病; 让植物的生理机制受到压抑,

发育不良，导致生病、生虫甚至死亡。同时，大气污染也会对气候产生不良影响，譬如酸雨的产生，致使河湖酸化、湖泊中鱼虾死亡、破坏土壤成分、破坏植被。

据统计，全球每年排放到大气中的汞、铅、砷和锡分别为 11000 吨、200 万吨、78000 吨和 5500 吨，超出大自然消耗能力的 20-300 倍。“经济合作与发展组织”的国家中，每年排放的二氧化氮、一氧化碳、二氧化硫和颗粒物分别为 3700 万吨、1.19 亿吨、5500 万吨和 1600 万吨。因为污染每年造成的材料和渔业方面的损失就高达 210 亿美元。

由于不重视环境保护，我国的环境污染状况已经相当的严重。世界资源机构进行的一项研究表明，全球污染最严重的城市有 90% 在中国。1996 年全国共制造 66 亿吨固体废弃物，比 1995 年多出了 2 亿吨，与 1991 年相比增加了 75%^[6]。据报道，我国到 2011 年煤、石油、铁、锌等重要资源都会出现短缺。中国的环境保护和污染治理迫在眉睫。

1.1.2 工程机械与环境的关系

工程机械(construction machinery)是用于工程建设的施工机械的总称。凡土石方施工工程、路面建设与养护、流动式起重装卸作业和各种建筑工程所需的综合性机械化施工工程所必需的机械装备，都称为工程机械^[7]。工程机械是我国装备工业的重要组成部分，作为工程建设的重要工具，被广泛应用于城市建设、交通运输、能源开采、沿海开发、农田水利和国防建设等各个方面，在国民经济发展中起着十分重要的作用。

我国的工程机械行业，经过 50 年的发展，现在已经能够生产 18 大类、4500 多种规格型号的产品。特别是近几年发展尤为迅猛，现已成为国际工程机械制造业的四大基地之一（美国、日本、欧盟、中国）。

据统计^[7]，2005 年我国具有一定规模的工程机械生产企业约有 1000 家，这其中外商独资、国内外合资企业约 130 家。年销售额 1000 万以上的企业约有 300 家。年销售额亿元以上的企业约有 100 家，其年销售额共为 940 亿元，占整个行业的 75%。10 亿元以上的企业有 23 家，年销售额占全行业的 50%。

2006 年工程机械市场持续火爆，生产销售指标保持 30% 的速度不断增长。这一年我国工程机械行业的工业总产值为 991.13 亿元，同比增长 37.14%。销售收入 969.96 亿元，同比增长 34.17%^[7]。

2007 年我国工程机械行业在国内市场和国外市场庞大需求的拉动下，持续蓬勃发展。工程机械全行业产品销售收入达 2223 亿元(人民币)，与 2006 年相比增长了 37%。利润总额 175 亿，比上一年提高了 48%。

2008 年 1-8 月，工程机械行业依旧稳步发展，销售产值同比增长 45.60%。销售收入 1471.68 亿元，同比增长 48.05%，行业毛利率为 17.58%。

工程机械制造业的特点可以归纳为以下几个方面:

(1) 从生产工艺流程来看, 工程机械制造业是典型的离散型工业。工程机械的制造顺序: 首先, 采用各种工艺将各种不同原材料制成形状、大小、性能各异的零件、元件、器件。然后, 依次组成组件、部件、总成。最后装配成工程机械。整个工艺流程由多项独立的工艺和工序组成。

(2) 工程机械制造业在清洁生产方面肩负着重任。工程机械不仅在生产过程中会消耗大量的能源、材料, 向大气、水体、土壤排放大量的有害物质, 而且在工程机械的使用过程中也是耗能、排污的重要载体。因此, 工程机械产业不仅要积极采用节能、降耗、清洁、安全的生产工艺, 而且还要确保工程机械在全生命周期内的环境、安全指标得到不断地改进和提高。

在人类的生产活动中, 制造业创造了巨大的财富, 同时也是环境污染的主要源头和最大的资源使用者。据统计, 在造成环境污染的排放物中 70%以上来自于制造业。制造业每年产生 7 亿吨有害废物和 55 亿吨无害废物^[8]。据统计^[9], 2006 年我国能源消耗总量为 246270.15 万吨标准煤, 其中工业能源消耗总量为 175136.64 万吨标准煤, 占能源消费总量的 71.12%。制造业能源消耗总量为 143051.47 万吨标准煤, 占工业能源消费总量的 81.68%, 占我国能源消耗总量的 58.09%。2007 年我国工业废水排放总量 246.6 亿吨, 其中制造业废水排放总量 181.1 亿吨, 占工业废水排放量的 73.4%。工业废气排放总量 388169 亿标立方米, 其中制造业废气排放总量 254327 亿标立方米, 占工业废气排放总量的 65.5%。工业粉尘排放总量为 698.7 万吨, 其中, 制造业工业烟尘排放总量 374 万吨, 占工业粉尘排放总量的 53.3%。

工程机械作为制造业的重要行业, 每年消耗大量的能源、材料的同时, 向地球排出大量的废弃物, 造成较严重的环境污染。因此, 工程机械在其全生命周期过程中会产生不同程度或不同形式的环境问题: 在生产过程中, 能源和材料的消耗和废弃物的排放; 在使用过程中, 能源的消耗和废弃物的排放; 以及淘汰报废后对环境的影响等。

工程机械在整个生命周期内, 包括制造、使用、回收、废弃等阶段都对环境产生影响, 如图 1.1 所示

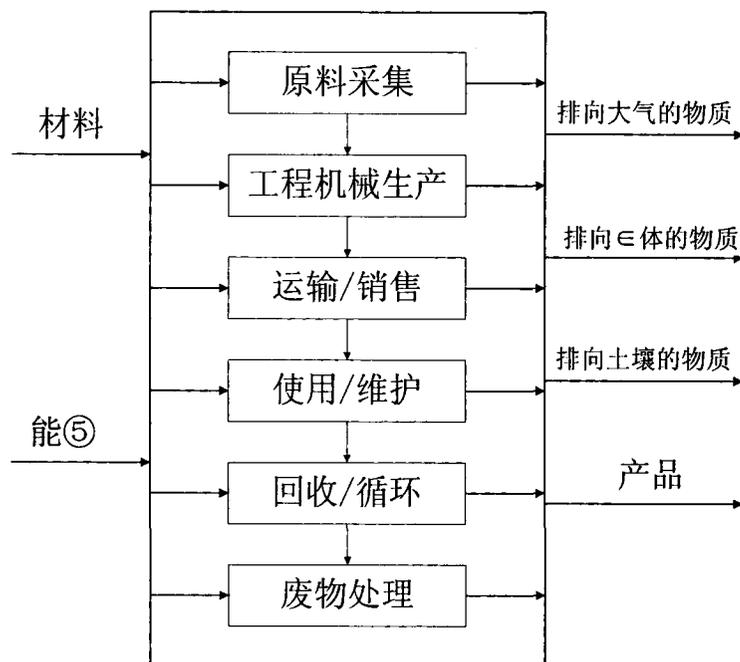


图 1-1 工程机械生命周期对环境的影响

Fig. 1-1 Environmental impact assessment of CMLCA

综上所述，工程机械与环境关系密切。为了实现工程机械产业的持续健康发展，在积极采用清洁安全的生产工艺的同时，要把节能、降耗、减排落到实处。

1.2 国内外研究状况

1.2.1 LCA 国际研究机构

1990 年国际环境化学协会(The International Scientific Society of Environmental Chemists)和 国际环境毒理学与化学学会 (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 简称 SETAC) 率先开始了关于生命周期评价的研究工作，随后各种国际研究机构围绕着 LCA 的研究工作陆续展开。并且，同样在 1990 年有关生命周期评价的国际研讨会第一次召开。在这个由国际环境毒理学与化学学会(SETAC)主持召开的会议上，首次提出了生命周期评价(Life Cycle Assessment, 简称 LCA)的概念。部分研究机构如表 1.1 所示。

表 1-1 LCA 研究机构情况^[10]
Table 1-1 Research mechanism of LCA

研究机构简称	全称
WWF	Worldwide Fund for Nature
TUD	Technical University of Denmark
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
Procter&Gamble	The Procter&Gamble Company
UNEP	United Nations Environment Program
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
NEP	Nordic Project for Environmentally-Oriented Product Development
IVL	Institute for Vatten Och Luftvardsforskning

1.2.2 企业的应用情况

生命周期评价起源于企业内部，因此从一开始就得到了企业的重视。很多国际著名的企业，在开展生命周期评价方法研究的同时，积极将生命周期评价理论应用于本公司产品，见表 1-2。

表 1-2 部分国际龙头企业展开的 LCA 研究
Table 1-2 LCA Research of leading enterprises

企业名称	国家	主要研究内容
美国电报电话公司	美国	生命周期评价方法论研究商业电话生命周期评价示范研究
国际商业机器公司	美国	磁盘驱动器生命周期评价示范研究微机报废及能源效率
惠普公司	美国	有关打印机和微机的能源效率和废弃物研究
数字设备公司	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
施乐公司	美国	产品部件报废研究
德国西门子公司	德国	各种产品生命周期结束后有关问题研究
奔驰汽车公司	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
Loewe-opta	德国	彩色电视机生命周期评价
飞利浦有限公司	荷兰	广泛开展了各种产品的生命周期评价
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
爱立信公司	瑞典	无线电系统生命周期评价示范研究
沃尔沃汽车公司	瑞典	生命周期评价方法论

1.2.3 国内外环境标志认证

生命周期评价方法的重要应用之一就是利用 LCA 进行绿色产品的环境认证。环境标志起源于 20 世纪 70 年代末的欧洲，在国外，被称为生态标签、蓝色天使、环境选择等，国际标准化组织将其称为环境标志。现今实施产品环境标志认证的国家很多，各国的绿色产品评价指标与标准不同，有一定的差异。总体来说，发达国家的绿色产品评价标准比发展中国家要高很多。但是评价步骤大体上都比较相似：

- (1)选择产品种类。
- (2)以初选产品种类研究对象，进行产品整个生命周期的环境影响评价。
- (3)制定合适的考核产品环境性能的标准值。
- (4)精选产品种类的范围。

其中第(2)步“以初选产品种类研究对象，进行产品整个生命周期的环境影响评价”是第(1)步“选择产品种类”和第(3)步“制定绿色产品标准”的依据，也是实施产品环境标志的核心。

1978 年，德国首先实施了环境标志“蓝色天使”(Blue Angel)，这是全世界范围

内关于环境和消费者保护的第一个标识体系，标签标识如图 1-2 所示。这个认证侧重于考虑产品的全生命周期中对环境造成的危害，包括产品的原料选用、设计制造、销售、运输、使用，以及报废过程中产生的各种有害物质。有害物质需要考虑向大气排放的有害物、向水体排放的有害物、向土壤排放的有害物、噪音以及对能源的消耗和不可再生资源的消耗等方面。

德国联邦环境署还提出了“分步生命周期”的评价方法，这种评价方法采用定量的数据和分析手段。希望对产品，特别是竞争激烈的产品能够做出准确、有效的评价。“分步生命周期”评价方法分为筛选、改进、细化三个步骤^[11]。

法国采用的环境标志是 NF (Norme Francaise)环境标志，标签如图 1-3 所示。此标签的实施始于 1989 年。但是由于开始遭到强烈的反对，项目直到 1992 年才得以完全实施。NF 环境标志的主要管理机构是法国标准研究院 (Association Francaise de Normalisation, AFNOR)。NF 环境标志既适用于消费品，也适用于半成品。它具有两个功能：第一，满足对产品环保属性可靠信息的需求；第二，辨别和奖励在生产过程中考虑产品的环保因素的公司^[12]。

1992 年 6 月 24 日，AFNOR 暂停了 NF 环境标志的工作，转而采用修正过的生命周期分析方法来评估产品。这种“新简化程序”明确规定采用生命周期评价中的清单分析法。其评价共分五步：

- (1)对研究的产品组进行市场调查和产品调查；
- (2)在研究的产品组之中选出有市场问题或环境问题的代表性产品；
- (3)对代表性产品进行生命周期清单分析；
- (4)对产品生命周期清单分析的结果进行影响分析；
- (5)专家组讨论，并且针对此类产品制定环境标志标准。

1989 年 11 月，北欧部长理事会，代表丹麦、芬兰、冰岛、挪威和瑞典等国家，决定引入“北欧白天鹅”(Nordic Swan)标签，如图 1-4。“北欧白天鹅”是对北欧全境实施的一项官方生态标签系统，也是世界上第一个多国合作式的环境标志计划。标签系统的建立旨在为消费者提供消费指南，并且帮助消费者从商场上挑选那些对环境危害最小的产品和相应的服务^[13]。北欧白天鹅标签对产品进行环境影响的评估，包括从原材料到产品报废的整个生命周期。并且，对能源和资源消耗，产品本身固有的有害环境的成分以及工厂的废气、污水和废物排放等方面都采用了具体要求。其中，丹麦采用“定量和定性”相结合的生命周期评价方法。以纸制品的评价为例：第一步，采用简化 LCA 方法对讨论的产品组进行定量和定性的评价；第二步，根据 LCA 清单分析，找出产品生命周期中关键的影响阶段和主要环境问题；第三步，对这些关键影响阶段和环境问题进行更深入的影响评价并制定标准。

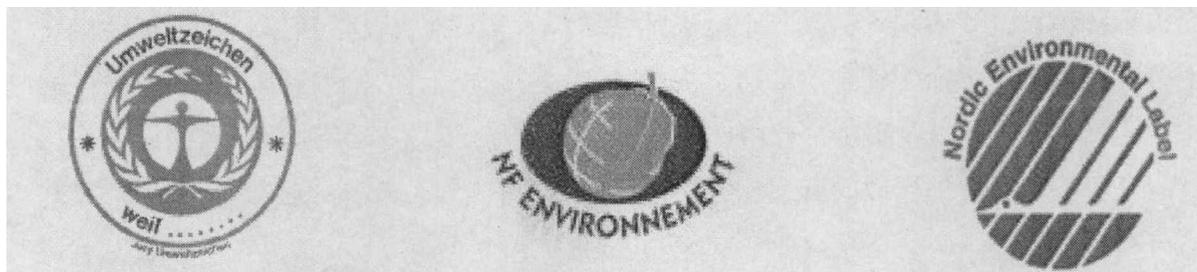


图 1-2 德国蓝色天使

Fig. 1-2 Blue Angel

图 1-3 法国 NF

Fig. 1-3 Norme Francaise

图 1-4 北欧白天鹅

Fig. 1-4 Nordic Swan



图 1-5 中国环境标志

Fig. 1-5 China Environmental label

图 1-6 瑞典 TCO'04 环境标志

Fig. 1-6 Sweden TCO'04

图 1-7 欧洲之花

Fig. 1-7 European flower

中国环境标志（俗称“十环”），图形由中心的青山、绿水、太阳及周围的十个环组成。图形的中心结构表示人类赖以生存的环境，外围的十个环紧密结合，环环紧扣，表示公众参与，共同保护环境；同时十个环的“环”字与环境的“环”同字，其寓意为“全民联系起来，共同保护人类赖以生存的环境”。中国环境标志环境标志亦称绿色标志、生态标志，是指由政府部门或公共、私人团体依据一定的环境标准向有关厂家颁布证书，证明其产品的生产使用及处置过程全部符合环保要求，对环境无害或危害极少，同时有利于资源的再生和回收利用。经过十几年的发展，十环环境标志已成为公认的绿色产品权威认证标志，形成了 600 亿产值的环境标志产品群体^[14-15]。1993 年创立至今，中国环境标志发生了很多标志性的大事，见表 1-3。

表 1-3 中国环境标志大事记^[16]

Table 1-3 Events of China Environment

时间	事件
1993 年 3 月 31 日	国家环保局发布文件“关于在我国开展环境标志工作的通知”，标志着中国环境标志计划的开始。
1993 年 8 月 25 日	国家环保局正式向社会公布中国环境标志图形——十环标志
1994 年 5 月 17 日	中国环境标志产品认证委员会成立。
1994 年 5 月 30 日	国家环保局颁布首批 7 类产品的技术要求。
1994 年 7 月至 11 月	国家环保局向首批 2 家企业颁发环境标志。
1999 年 11 月	中国环境标志产品认证委员会换届，国家环保总局、质检总局等 11 个机构组成了第二届委员会。
2001 年 8 月	GB/T24024 正式实施。中国环境标志与 ISO14024 对接，成为国际认证。
2003 年 1 月	中环联合（北京）认证中心有限公司（国家环境保护总局环境认证中心）正式成立。
2003 年 5 月	51 类产品被纳入环境标志计划。
2003 年 10 月	国家环保总局正式授权中环联合（北京）认证中心有限公司（CEC）承担中国环境标志产品认证职能。

另外,绿色产品的环境认证还有瑞典的 TCO'04 环境标志、欧盟生态标签委员会 (EUEB)的“欧洲之花”生态标签、荷兰生态标签(The Netherlands Stichting Milieukeur)、澳大利亚良好环境选择标签 (Good Environmental Choice) 等。其中 TCO'04 环境标志和“欧洲之花”生态标签的标识分别如图 1-6, 1-7 所示。

1.2.4 国内外生命周期评价软件的开发情况

由于直接将生命周期评价(LCA)理论应用于研究对象具有一定的复杂性,国外许多著名的研究机构 and 大型企业都纷纷开展了生命周期评价软件的研究和开发工作。以期使 LCA 中不能操作或操作性差的各类指标易于操作。经过几十年年的努力,在 LCA 软件系统的开发上,现已取得了一定的进展。一些常见的生命周期评价软件,如表 1-4 所示。

表 1-4 常见 LCA 软件汇总
Table 1-4 LCA Software Summary

LCA 软件名称	开发者	类型	影响评价	复杂产品
Boustead Model	Boustead Consulting(英国)	数据库工具	无	能
Idemat	Delft University(荷兰)	量化工具	无	能
LCA Inventory Tool	Chalmers Industriteknik(瑞典)	量化工具	无	能
Lims	Chem System(美国)	量化工具	无	不
TEAM	Eco-bilan(法国)	量化工具	有	能
GaBi	Institute for Polymer Testing and Science IPK(德国)	量化工具	有	能
Eco-Pro	EMPA(瑞士)	量化工具	有	能
Eco-inventory Tool	LMS Umweltsysteme(奥地利)	量化工具	无	能
Oeko-base	Migros(瑞士)	量化工具	有	不
DEMS	PIRA International(英国)	量化工具	有	能
EcoAssessor	PIRA International(英国)	量化工具	无	不
SimaPro	Pre Consulting(荷兰)	量化工具	有	能
PIA	Instituut Voor Toegepaste Milieo Economie(荷兰)	量化工具	有	能
EDIP-tool	Institute for Product Development(丹麦)	量化工具	有	能
Matrix approach	AT&T(美国)	半量化工具	有	能
Pre-LCA Tool	Battelle/Digital(美国)	半量化工具	有	能

Boustead Model 是英国开发的 LCA 软件,也是最早的 LCA 工具之一。特色是具

有庞大的能源、生产燃料及物流的资料库，数据库中约有 4000 组单元数据。由于其包含 23 个国家的燃料生产工业资料，故在作业流程中，通过资料表输入材料、能源需求等代号及数量，即可以自行选择输出项目。一般由受过专业训练的人员进行操作。软件的缺点是无法进行环境影响评估^[17]。

SimaPro 软件由荷兰 Leiden 大学环境科学中心 (CML) 开发与发展，其目的主要在于可简化期评流程及图标量化数据，是一款面向产品开发和产品设计的综合 LCA 软件。具有丰富的环境负荷数据库，如 BUWAL 250 (包装材料的产品、运输、销售及最处理方面)，ETH-ESU96 (运输、能源、电力制造)，IDEMAT 2001 (不同材料、工艺和工序的工业设计方面)，Franklin US LCI (美国日用品和包装材料)，Dutch concrete (水泥及混凝土)，IVAM (用于建筑部门的超过 100 种材料和 250 个工艺生产的有关能源和运输方面)，FEFCO (欧洲造纸业方面)。但是数据基本来自于欧洲特别是荷兰，不适用于中国国情。软件的使用界面良好，提供向导式的评价模式，自动生成评价工艺流程图，大幅度降低了专业软件的使用难度，易于理解，便于用户使用^[18]。

Gabi 软件由德国 IKP 大学开发，是一款全德语化的软件。其数据库结合了研究单位和工业企业的清单数据。数据库中含有 350 个典型工艺的环境信息。软件的评价步骤包括选择重要生态领域，分类、计算影响、标准化、评估这 5 个基本步骤。Gabi 的模块结构可分为两种：考查生命周期各阶段的模块和面向对象的模块单位^[19]。

Ecopro 软件是由瑞士环境、森林及景观联邦办公室 (Swiss Federal Office for Environmental, Forest and Landscape, EMPA) 主持开发的。Ecopro 软件可以在 Windows 窗口下进行操作，并且包含三种影响评价模式——临界体积、面向效应模式及生态乏值。Ecopro 可以针对不同形式的产品进行系统建构。系统主要分 5 五种：一般系统、热能源系统、废弃物系统、原料系统和电力系统。

LCAiT (LCA Inventory Tool) 是瑞典 Chalmers Industriteknik 开发的能源和材料 LCA 软件。它只提供有限的资料库，包括能源、化学物质、生产燃料及物流、塑料、纸浆及纸制品等，其优点是可外接其他资料库。比较适合具有物质能量流动概念的非专业的初学者使用^[20]。

在国内，目前还没有开发出成熟、完善、系统化的生命周期评价软件系统，不能为广大的产品设计开发人员和 LCA 工作人员提供强有力的支持。但是近几年已经开始有人关注 LCA 软件的开发和应用了。

文献[21]利用 Java 和 SQL Server 技术开发了一套基于 C/S 体系结构的产品 LCA 原型系统，以期满足产品生命周期动态评价的需要，并掌握以 LCA 为中心的环境信息资源。该系统包括 4 个子模块：数据处理模块、数据计算模块、产品系统建模和影响评价模块。

文献[22]分析了国内、外生命周期评价数据库软件的不足，开发了 LCA 数据管

理信息系统。该系统具备五大特点：开放性、可拓展性、可移植性、清单分析和影响评价相结合、定性定量评价相结合。

文献[23]研究了生命周期评价工具(Life Cycle Assessment Tools, 简称 LCAT)软件系统中使用的关键技术——产品设计建模、拆卸算法、产品数据结构, 并详细地说明了各种数据的存储形式。

文献[24]详细阐述了网络环境下的生命周期评价数据管理系统(LCADs)的设计与实现。以 SQL Server 语言完成数据库的构建; 综合运用 HTML、VBscript、Java 等编程语言完成用户界面以及网络询问、传输功能的设计。

文献[25]将生命周期评价方法应用于经济、能源和环境(EEE)领域。阐述了进行 EEE—LCA 清单分析的方法, 以及进行 EEE 综合评价的具体步骤。根据 EEE—LCA 的思想, 基于 Windows2k 平台, 采用 MFC 类库, 开发了用于氢源系统方案综合评价的专用软件。

文献[26]提出了一个基于网络的生命周期评价模型, 该模型借鉴 IDEFO 方法。建立基于数据库技术、网络使能技术等信息处理技术的 LCA 系统评价模型。

文献[27]详细阐述了 LCAIS 的系统设计需求, 软件设计的原则, 子系统的划分, 系统的组网方案、以及用户界面设计, 并着重介绍了系统的功能设计和数据库设计。

文献[28]通过深入分析产品及其生命周期活动的本质, 提出了绿色产品评价的生命周期模型。研制了一套绿色产品生命周期分析软件系统——GPLCAS。该软件应用 IDEFO 进行总体设计, 使得系统功能设计简单明了, 按照面向对象设计的思想, 提出用功能单元类和过程类来抽象产品及其生命周期活动, 实现了系统的详细设计。

1.3 课题的提出及研究意义

从上面的分析可以看出, 因为偏执于发展经济和创造物质财富, 忽视环境保护, 全球气候变暖、臭氧耗竭、酸雨、水体污染、能源枯竭、大气污染等生态问题已经越来越严重。我们赖以生存的地球正在渐渐失去生机。

特别是我们国家, 因为一直以来缺乏保护环境观念, 大肆砍伐树木、乱采乱挖煤矿、随意倾倒有毒有害物质等的事情时有发生。根据世行报告(2007), 中国污染的经济损失达到了 5.8%GDP。中国每年因环境污染造成的损失达到二千八百三十亿元人民币, 其中, 仅水污染一项, 估计一年造成经济损失约 500 亿元。大气污染造成的经济损失约为 200 亿元^[5]。生态环境破坏和自然灾害造成的损失高达 2000 亿元。全国酸雨覆盖面积已达 30%。森林覆盖率由建国初的 33%, 下降至不足 14%。草原严重退化, 水土流失面积达 155 万平方公里, 占国土面积的 16%。2009 年国家环保总局的调查报告称, 我国污染已达危险临界点。减少污染、保护环境势在必行。

工程机械是工程建设的重要工具, 被广泛应用于城市建设、交通运输、能源开采、

沿海开发、农田水利和国防建设等各个方面，在国民经济发展中起着十分重要的作用。但是，工程机械作为制造业的重要行业，每年消耗大量的能源和材料，向地球排出大量的废气、废水、废物，造成了严重的环境污染。因此，工程机械产业实现节能降耗减排，清洁生产意义非凡。

近年来，生命周期评价（Life Cycle Assessment，简称：LCA）^[29,30]已发展成为一种国际公认的生态与环境管理工具，广泛应用于各行各业。但是由于工程机械产业是典型的离散型工业，具有一定的复杂性，在这方面的 LCA 应用还不是很多，特别是工程机械生命周期评价软件的开发上。国内的 LCA 软件大多侧重于材料产业、包装^[31]、汽车^[32]等，对工程机械产业鲜少涉及。因此，国内还没有能够为广大的工程机械设计开发人员提供强有力的支持的工程机械 LCA 软件系统。由 1.2.4 节可以分析出，国外的一些综合性 LCA 软件（例如：荷兰的 Simapro，德国的 Gabi 等）虽然也可以在国外的工程机械方面使用，但是由于其基础数据都是基于本国的平均数据，有明显的地域和时域的差别，也不符合我国的国情，与我国的情况差别较大，所以难以保证工程机械生命周期评价的准确性。

因此，研究将生命周期评价理论引入我国工程机械领域，建立生命周期分析模型具有十分重要的意义。可以帮助工程机械生产企业摆脱“先污染，后治理”的模式，达到从最初的设计上实现节能降耗、降低环境影响提供指导的目的。在此基础上开发出一套相对成熟、完善的工程机械生命周期评价软件系统，可以大大降低生命周期评价的操作难度，提高可操作性，节省一定的时间和人力。

1.4 课题来源

项目名称：《面向工程机械的典型产品生命周期评价软件及其数据资源库开发》。

项目来源：国家“十一五”科技支撑计划子项目（2006BAF02A01-03）。

合作单位：机械科学研究总院中机生产力促进中心。

1.5 论文主要研究内容

本文以工程机械为研究对象，对其进行生命周期评价，建立生命周期分析模型。并且，汲取国外相关软件产品的先进思想，利用 Visual C# 2005 和 SQL Server 2005 技术，拟设计并开发一套基于客户机/服务器体系结构的工程机械生命周期评价系统。

本文共分六章，组织结构如下：

第一章，绪论。简要介绍了课题研究的大背景，及国内外的研究机构、国际龙头企业对 LCA 的研究和应用情况。明确进行工程机械生命周期评价研究，并开发相关软件的意义。

第二章，生命周期评价概述。对生命周期评价理论的定义、特点、发展阶段进行介绍。特别对生命周期评价的技术框架进行了深入细致的研究。总结 LCA 的分类和评价方法。将 LCA 与其他环境管理工具进行比较，归纳各自的优缺点。

第三章，工程机械生命周期分析模型。结合工程机械的特点，提出工程机械生命周期评价(Life Cycle Assessment of Construction Machinery, CMLCA)模型。对目标确定的方法、评价范围、整合评价模型等问题进行详细的论述。并就如何增强生命周期评价方法在 CMLCA 中的可操作性进行研究和论述。

第四章，CMLCA 系统的设计和开发。用 Visual Studio2005 (C#) +SQL Server 技术，开发 CMLCA 系统。本章在基于网络的工程机械生命周期评价系统的实现过程中，首先介绍了评价系统的开发环境，其次进行了评价系统的需求分析，然后根据工程需求进行了评价系统的功能设计、界面设计、数据库设计和整体框架设计。最后介绍了评价系统前台操作模块、后台管理模块、辅助功能模块这三个主要功能模块的实现。

第五章，CMLCA 的实例应用。以工程机械发动机的连杆为对象，利用开发的 CMLCA 系统进行全生命周期评价。

第六章，总结与展望。对本课题的主要研究内容和贡献进行总结，并提出出现阶段的不足，对下一步工作提出展望。

第二章 生命周期评价概述

2.1 生命周期评价的基本概念

2.1.1 LCA 的定义

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 发展至今, 有过很多种定义, 其中国际环境毒理学与化学学会 (SETAC) 和国际标准化组织 (ISO) 的定义最具权威, 也为最多人接受。国际环境毒理学与化学学会 (SETAC) 的定义^[33]是: “生命周期评价是一种的客观方法, 用来评估产品生产工艺及其活动给环境所带来的负担。得到产品的能量消耗、材料的消耗以及排放物对环境的影响, 并且对改善环境的各种方案做出评估。这种评价贯穿于产品工艺和活动的整个生命周期, 包括: 原材料采掘、原材料加工、产品生产、运输销售、产品使用和回收处置的全过程”。国际标准化组织 (ISO) 的定义^[34]是: “对产品或服务系统整个生命周期中, 与产品或服务系统功能直接相关的环境影响、物质和能源的投入产出进行汇集和测定的一套系统方法”。

2.1.2 LCA 的特点

(1) 全过程性: LCA 贯穿于产品或活动从原材料采掘、加工, 产品生产, 运输及销售, 产品的使用, 再利用, 到最后回收处置的生命周期全过程。

(2) 重视环境影响: LCA 本身就是为了节能降耗减排, 保护环境产生的, 因此十分重视环境影响环节。特别强调产品或活动在“全生命周期”的各阶段对环境的影响, 包括土地的占用材料的消耗、能源的使用, 以及废气、废水、废物等污染物排放, 并且在最后对“全生命周期”内产品或活动的环境影响进行汇总。

(3) 系统化: LCA 是一种系统化的评价方法。它是将产品或活动整个“生命周期”作为一个整体来研究, 考虑整体的输入、输出、造成的影响。期间涉及到每一个环节中的所有的能量消耗、材料消耗、废弃物对外界压力和对环境的影响。定量来评价这些能量和物质的使用以及所释放废物对环境的影响, 辨别和评价改善环境影响的机会。

(4) 开放型: 目前, LCA 还没有统一的模式。用户可以根据研究对象和研究目的等具体情况的不同予以实施。

2.2 LCA 的发展过程

LCA 开始研究的标志要追溯到 1969 年——美国中西部资源研究所 (Midwest Research Institut, MRI) 针对可口可乐公司的饮料包装瓶进行了评价研究。该研究在进行玻璃瓶或塑料瓶包装的选择时, 试图从原材料开采到废弃物处置, 进行全过程的跟踪与定量分析。结果表明塑料瓶对环境更加友好。这项研究也奠定了生命周期清单分析的基础。之后, 美国 ILLINOIS 大学, 富兰克林研究会也开展了类似的研究^[35]。随后, 英国的 Boustead 公司、瑞典的 Sundstorm 公司等一些欧洲的研究所和公司开展了多项以包装纸、包装盒等包装材料和容器为中心的产品评价。

1972 年, 美国国家环保局委托 MRI 进行了的饮料包装瓶的评价研究。这项研究分析了钢铁、纸、玻璃、铝、塑料等约 40 种材料, 并涉及到很多相关的工业部门^[36]。1974 年, 美家环保局基于这项研究的结果, 发表了一份公开的报告。报告中提出了一系列较为规范的生命周期评价的研究框架。可以说, 这是 REPA 研究的一个里程碑。

1972—1973 年, 德国联邦研究与技术部(Federal Ministry of Researe hand Technology)对“生物降解”聚合物的技术进行了可行性分析的研究。1975 年, 东京野村研究所为日本利乐公司进行了首次包装材料的生命周期评价研究, 通过不同的销售方案对纸杯和玻璃瓶进行比较。并完成研究报告《对纸盒牛奶包装的评价》。这是日本第一次展开生命周期评价的研究^[37]。随后, 美国 Franklin 协会也发表了报告《15 种一次性饮料瓶的能量比较》。

70 年代所作的工作并不是完全意义上的生命周期评价, 而主要以清单分析为主。在美国这种对资源消耗及产品环境释放的量化方法被称为资源与环境状况分析 (Resources and Environmental Profile Analysis, REPA)。研究内容多为包装品的分析和评价。因为很多与产品有关的污染物排放都与能源的利用有关系, 所以当时 REPA 普遍采用能源平衡分析方法。与此同时, 欧洲国家的研究人员提出了类似清单分析的“生态衡算”(Ecobalance) 方法。这种方法以能源平衡、物料平衡、生态试验为基础。对产品生命周期中, 以环境为对象的所有输入、输出进行核算^[38]。

在 1975 年能源危机爆发之后, 人们开始意识到能源、矿物等不可再生资源慢慢耗竭殆尽, 必须予以保护。同时, 能源的生产和使用是污染物的主要产生来源。生命周期评价中能源消耗部分受到了强烈地关注。生命周期评价分析中能源的重要性被突出强调。从 1975 年开始, 美国国家环保局逐渐减少对单个产品的分析评价, 把研究重点放在制定能源保护和减量固体废弃物上。

20 世纪 70 年代末到 80 年代中期, 全球性的固体废弃物问题出现了。此时, REPA 的研究方法又成为一种资源分析工具, 研究的重点放在了能源分析与规划、原材料的消耗量, 以及计算固体废弃物的产生量上。

1984 年, 瑞士环境部委托瑞士联邦“材料调试与研究实验室”开展了一项有关包装材料的研究。在这项研究中首次采用了健康标准评估系统, 并且建立了一个详细的清单数据库。其中包括了一些重要工业部门的生产工艺数据和能源利用数据。在

1991年,“材料调试与研究实验室”又开发了一个商业化的计算机软件。这是生命周期评价方法论的发展过程中重要的基石之一^[39]。

20世纪80年代末,随着环境问题的日益严重,公众和社会环境保护意识的日渐加强,LCA研究也得到越来越多的关注。生命周期评价逐渐由单纯的清单分析转为综合评价。但生命周期影响评价方法并没得到统一和规范,相关的方法和术语产生了混乱。因此,制定LCA统一规范的要求很急迫。

1990年8月在美国vermont,首次有关生命周期评价的国际研讨会在国际环境毒理学学会与化学学会(SETAC)的主持下召开。在该次会议上,首次提出了“生命周期评价”的概念。1993年在葡萄牙的Sesimbra举办的研讨会上,将名称正式定为Life Cycle Assessment(LCA)。随后,SETAC根据这次会议的内容出版了“LCA纲要:实用指南”。该报告为LCA方法提供了一个基本技术框架。

ISO从1992年开始筹划包括LCA标准在内的ISO14000环境管理系列标准的制定。1993年6月,“环境管理标准技术委员会”(TC-207)正式成立。其主要工作是负责环境管理体系的国际标准化。ISO于1997年6月正式颁布ISO14040(环境管理—生命周期评价—原则与框架)。1998年颁布ISO14041(清单分析)。2000年颁布了ISO14042(生命周期影响评价)、ISO14043(生命周期解析),以及ISO14049/TR(ISO14041(清单分析)的应用实例)。2002年又颁布了ISO14049/TS(数据文件信息)。

LCA已经成为ISO14000系列标准中产品评价标准的核心。同时也是环境标志计划与清洁生产实施的重要基础^[40]。

2.3 LCA的技术框架

1993年,SETAC在“LCA纲要:实用指南”中归纳了LCA的基本结构,如图2-1所示。LCA包括定义目标和确定范围(Goal Definition and Scoping)、清单分析(Inventory Analysis)、影响评价(Impact Assessment)和改善评价(Improvement Assessment)这4个有机联系的部分^[41]。

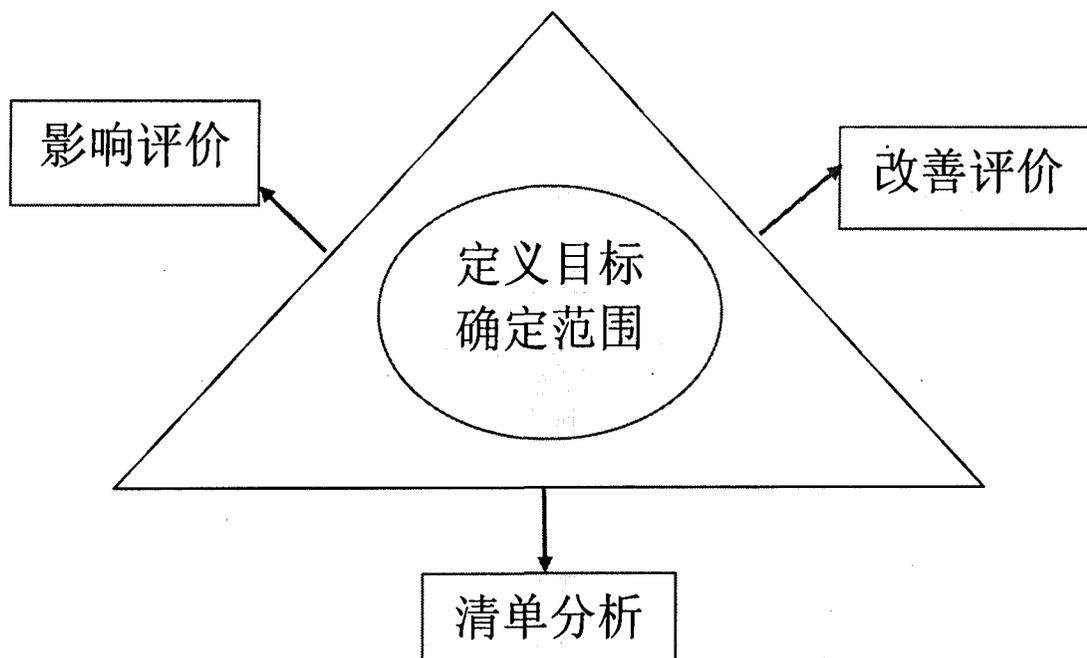


图 2-1 生命周期评价的基本结构 (SETAC, 1993)

Fig.2-1 The structure of LCA (SETAC, 1993)

随后，ISO 对 LCA 进行了规范^[42-44]，确定生命周期评价的实施步骤——目标和范围确定、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 中，双箭头表示基础信息流，单箭头表示每阶段的结果解释。

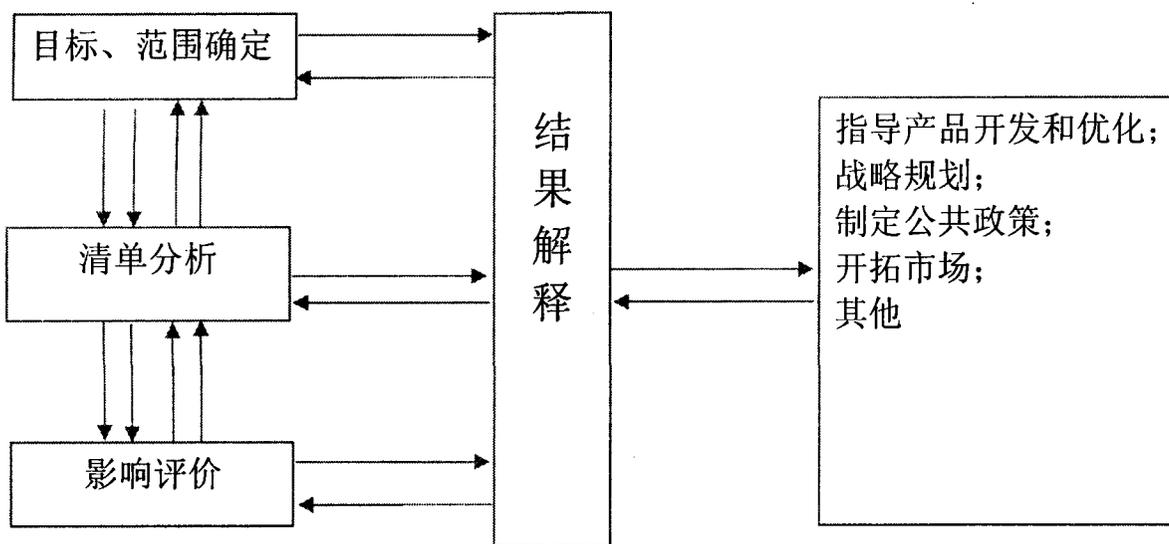


图 2-2 生命周期评价的实施步骤 (ISO14040,1997)

Fig.2-2 Implementing steps of LCA (ISO14040,1997)

2.3.1 目标与范围的确定

目的与范围的确定是 LCA 研究的第一步，反映资料收集与影响分析的根本方向。这步工作没有标准模式可以套用，基本内容包括：确定目标和范围、建立保证研究质

量的程序、确定功能单位等。这是 LCA 后续所有阶段的指导。

LCA 研究的目标要根据使用对象、研究目的以及预期应用的领域来确定。LCA 评价结果的预期使用者大体分为：消费者、生产者和公共部门（政府等）三类。评价目标不同所采用的 LCA 方法也不同。

LCA 研究范围的广度和深度应该与研究目标相符。一般包括评价功能单元定义、系统边界、系统输入输出分配方法、假定的条件、时间范围、影响评价的数学模型、限制条件、数据质量要求等内容。在 LCA 的评价过程中，范围确定不是一成不变的，而是一个反复的过程。随着数据、信息的收集，以及生命周期评价的进行，为了满足原来制定的研究目的，可能需要修改甚至重新制定研究范围的各项内容。有时候，因为获得了某些关键的新信息或者发生了预料之外的制约情况，甚至需要对研究目的本身加以修改。

功能单位是指产品或系统输入、输出功能的量度。在制定功能单位的时候，我们需要考虑的因素有：产品的使用期、产品质量标准、以及产品的效率。功能单位能够为系统有关的输入和输出提供一个数学意义上的统一计量的参照基准，从而保证不同产品或系统 LCA 结果的可比性。在 LCA 的第二环节清单分析这个过程中收集的所有数据都必须以功能单位为基准进行换算。

2.3.2 清单分析

清单分析（life cycle inventory, LCI）是目前发展最为成熟的阶段，也是 LCA 的中心环节，其数据收集得是否精确和齐全，决定着后续 LCA 分析结果的正确与否^[45]。清单分析是 LCA 量化的开始，为了保证数据的标准化应该以产品功能单位为基准来建立系统的输入和输出。以功能单位为基准的输入和输出不是绝对量，而是一种相对量。清单分析一般包括能量消耗清单、材料消耗清单，以及大气污染物、水体污染物、固体废弃物等向环境排放的物质的清单。

LCI 的研究范围是“全生命周期”，即从原材料采掘、加工，制造，运输及销售，产品的使用，维护再利用，到最后回收处置的生命周期全过程。一个完整的全生命周期清单分析应该能够做到为所有与系统相关的输入和输出提供一个总的概括。

清单分析工作是一个反复的过程。因为进行一段时间的 LCI 工作后，对系统有了更深入的认识，进而发现了原系统的局限性，或者出现了新的数据，这时为了适应 LCA 研究目的，就要求对数据收集程序做出修改。清单分析的简化程序如图 2-3。

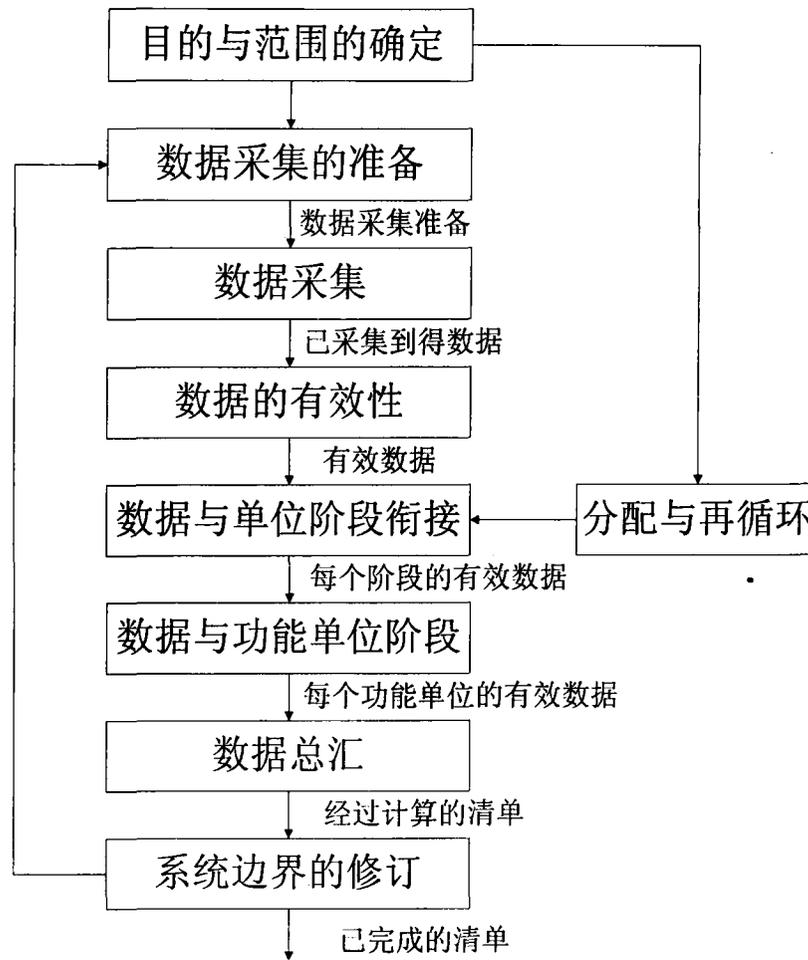


图 2-3 清单分析的简化程序
Fig.2-3 Simplify program of LCI

2.3.3 影响评价

影响评价(Life Cycle Impact Assessment, LCIA)是生命周期评价的核心环节,同时也是难度最大的部分。LCIA 的工作是对环境交换的潜在影响进行评估,具体来说就是对通过 LCI 阶段所得数据辨识出来的环境影响潜值进行定量和(或)定性的描述和评价。

影响评价普遍采用“三步走”的模型,即影响分类(Classification)、特征化(Characterization)和量化(Valuation)。

影响分类经常遵循资源耗竭,对生态环境的影响和对人类健康的影响的范畴来分类。其中每个大类下又包含有许多子类。对生态环境的影响这一大类下包含有酸雨、全球变暖、光化学烟雾、淤泥、沙漠化、水体富营养化、臭氧层破坏、土壤致密性、栖息地改变、离子辐射和噪音等子类。进行这样的分类,有利于评价人员识别不同类型的环境污染,进而根据这些不同类型环境污染的相关知识来进行影响评价。

特征化以生物、物理、化学和毒理等环境过程相关知识为基础,汇总每一种影响大类中不同的影响类型。特征化的意义在于它使不能够比较的环境污染物排放量指标

可以进行比较^[46,47]。它是分析与定量中的一步。酸化(AP)一般采用 SO_2/kg 作为当量；光化学烟雾(POCP)采用 $\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg}$ 当量；臭氧层破坏(ODP)采用 CFC-11/kg 当量。国际上使用的特征化模型主要有：总体暴露效应模型，负荷模型，固有的化学特征模型、当量模型、点源暴露效应模型^[48]。

量化即加权，一般分两步：首先，根据不同环境影响类型的相对贡献大小即影响性进行排序，确定权重；然后，对影响潜值赋予权重，以便得到一个可供比较的、数字化的单一指标。量化的目的是对不同的系统、产品或处理方案的环境影响进行比较。但是，关于赋予权重的具体方法，国际上还没有统一的标准可遵循。

2.3.4 结果解释

结果解释是生命周期评价的最后一步。这一步根据 LCA 第一步“目的和范围的确定”，综合考虑“清单分析”和“影响评价”这两步，进而形成结论、找出薄弱环节，并提出建议。相关生产部门和技术人员可以根据结果解释中提到的局限性、薄弱环节，以及定量或定性的改进措施，来制定这类产品或对象的评价标准。目前，结果解释的理论和研究方法研究还比较少。

2.4 LCA 的分类及评估方法

LCA 按照其技术复杂程度可分为三类：概念型 LCA(或称“生命周期思想”)、简化型 LCA、详细型 LCA。

在 2.2 节中已经介绍了，LCA 方法的基本框架已经形成国际标准 ISO14040^[42-44]。但是，环境影响的评估方法还未达成共识，不存在统一的模式和方法。介绍几种主要的产品生命周期环境影响评价方法，见表 2-1^[49]。

表 2-1 几种主要的 LCA 评估方法
Table 2-1 Evaluation methods of LCA

评估方法	研究单位	说明介绍
CML 方法	Leiden University CML (荷兰)	定量评估，有详细特性和标准化值及权重值，ISO14000 兼容
Eco-indicator 方法	PRéConsultants 公司 (荷兰)	定量评估可用于复杂产品评估模型复杂，ISO14000 兼容
EDIP 方法	Technical University of Denmark 与 Danish EPA	定量评估方法，有详细评估模型，可用于复杂产品，符合 ISO14000 标准，目前暂时缺少相应软件工具
Eco-point 方法	瑞士挪威德国联合研究	定量评估包装材料数据多

2.5 生命周期评价与其他环境管理工具的比较

环境管理工具可以分为与组织（企业）相关的和与产品相关两种，不同的环境管理工具针对着不同的环境管理问题。传统的环境管理工具中，应用比较广泛的有风险评价（RA）和环境影响评价（EIA）。生命周期评价(LCA)作为新一代的环境管理工具，与这两种工具有着很大的不同，见表 2-2。

表 2-2 三种环境管理工具比较

Table2-2 Comparison of three types of environmental management tools

项目	风险评价 (RA)	环境影响评价 (EIA)	生命周期评价 (LCA)
目标	预告目标生物的危险性	具体工程或项目环境	影响全球生态系统
方法论	查汇分析	综合评估	溯源分析
内容结构	接触评价, 危险识别, 风险描述, 风险管理	范围界定, 影响识别, 影响度量, 影响预测, 减轻措施, 评价和监测	目标定义, 清查分析, 影响评价, 改善评价
评价对象	潜在有害物	具体的工程或项目	产品及产品系统
时空特性	局地性的, 短时的影响	局地和区域的短期影响	全球性长期影响
局限性	仅限于小地域的人类健康; 忽略持续性风险; 极少分析自然环	局限于具体地域的具体项目; 不考虑全球环境影响; 方法论不统一	无法分析偶然性排放; 对数据高度综合的结果, 忽略了对局地的影响

第三章 工程机械生命周期分析模型

本章的主要工作是建立工程机械生命周期评价(Life Cycle Assessment of Construction Machinery, CMLCA)模型。并就如何增强生命周期评价方法在 CMLCA 中的可操作性进行研究和论述。

3.1 工程机械的生产模型

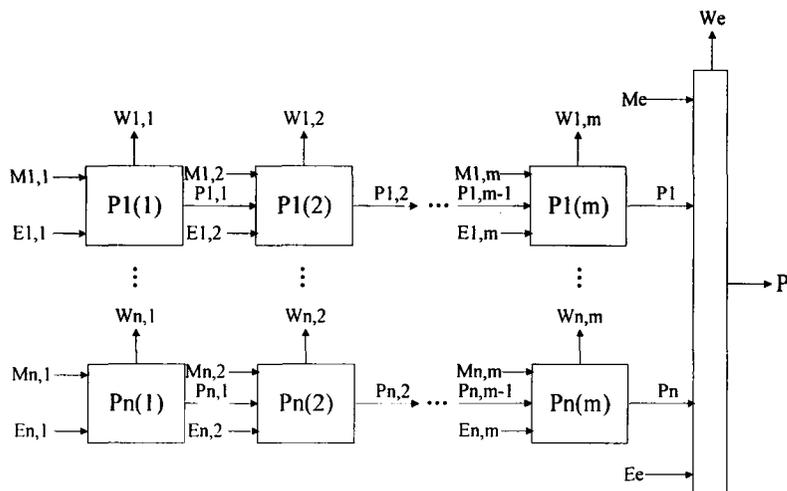


图 3-1 工程机械的生产模型

Fig. 3-1 Production model of construction machinery

从生产工艺流程来看，工程机械制造业是典型的离散型工业。工程机械的制造过程：首先，采用各种工艺将各种不同原材料制成形状、大小、性能各异的零件、元件、器件。然后，依次组成组件、部件、总成。最后装配成工程机械。整个工艺流程由多项独立的工艺和工序组成。根据这一特点，建立工程机械的生产模型：

设分析对象为 P；P 可以进一步分割为若干单元组件 P_i ；单元组件 P_i 的能源消耗为 M_i ，材料消耗为 E_i ，环境排放为 W_i ，其中 $(i=1, 2, \dots, n)$ 。单元组件 P_i 经过一系列工序 $P_{i,1}, P_{i,2}, \dots, P_{i,m}$ 完成。方框内的编号 $i(j)$ 表示 P 的第 i 个单元组件的第 j 道工序，对应的能源消耗，材料消耗，环境排放分别为 $M_{i,j}, E_{i,j}, W_{i,j}$ ，其中 $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。各单元组件组装成 P 的过程中的能源消耗，材料消耗，环境排放分别为 M_e, E_e, W_e 。

若不将所消耗的空气包括进去，则图 3-1 中每一道工序都遵循物质守恒定律。组件 $P_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的物料平衡为：

$$M_{i,1} + M_{i,2} + \dots + M_{i,m} + E_{i,1} + E_{i,2} + \dots + E_{i,m} = W_{i,1} + W_{i,2} + \dots + W_{i,m} + P_i \quad (3-1)$$

$$\sum_{j=1}^m M_{i,j} + \sum_{j=1}^m E_{i,j} = \sum_{j=1}^m W_{i,j} + P_i \quad (3-2)$$

工程机械 P 的制造过程，遵循物质守恒定律：

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n + M_e + E_e = W_e + P \quad (3-3)$$

$$\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m M_{i,j} + \sum_{j=1}^m E_{i,j} - \sum_{j=1}^m W_{i,j}) + M_e + E_e = W_e + P \quad (3-4)$$

对于整个工程机械制造过程来说, M_e , E_e , W_e 很小, 可忽略。进而可得:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{i,j} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{i,j} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{i,j} = P \quad (3-5)$$

其中, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{i,j}$, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{i,j}$, $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{i,j}$ 分别为整个工程的材料消耗总量, 能源消耗总量, 环境排放总量。

3.2 工程机械 LCA 的可操作性

生命周期评价方法发展到现在, 虽然大部分的阶段和要素已经有了为大众所认可的概念, 也制定了标准, 但是涉及到具体的对象上, 到底要如何进行 LCA 的实施, 还是缺少相应的方法和标准。LCA 中各阶段和要素的可操作性情况见表 3-1。表 3-1 符号说明: \checkmark 为可操作; (\checkmark) 为概念阶段; 操作性差 \div 为无说明。

表 3-1 LCA 中各阶段和要素的可操作性情况

Fig. 3-1 Various stages and elements of operational conditions in LCA

LCA 的阶段和要素	可行性
目标定义	(\checkmark)
范围定义	\div
—功能单元	(\checkmark)
—评价标准选择	(\checkmark)
—时间范围	(\checkmark)
—技术范围	(\checkmark)
—产品系统的定义范围	(\checkmark)
—分派	(\checkmark)
清单分析	\checkmark
影响评价	\div
—影响潜在因素	\div
分类和描述	(\checkmark)
全球环境影响	(\checkmark)
区域环境影响	\div
—标准化	(\checkmark)
—权重	(\checkmark)

3.3 工程机械的 LCA 模型

3.3.1 CMLCA 目标的确定

在进行工程机械的生命周期评价的第一步是要确定研究目标。LCA 的研究目标必须根据使用对象、研究目的, 以及预期应用领域来确定。CMLCA 应用的领域和使用

者主要是工程机械领域的设计者、生产者，以及工程机械的使用者。由此，将 CMLCA 的主要的评价目标定为：

(1)通过对工程机械相关产品进行生命周期评价定性与定量分析，找出 CMLCA 中对耗材、能耗以及环境影响最大的阶段或影响类型，进一步找出产品的设计缺陷和进一步改善的潜力，为设计者改进工程机械产品的设计，增强产品的环境友好性提供建议。

(2)在不同的产品设计之间进行比较。比较两者或多者在能耗、耗材以及环境性能方面的优劣，从而为设计者选择优秀的设计方案提供参考和决策性支持。

(3)在同类产品之间进行比较。比较两者或多者在耗材、能耗以及环境影响方面的优劣，帮助用户选择对环境更友好的产品。

3.3.2 CMLCA 范围的确定

尽管从 LCA 的定义可知，生命周期评价贯穿于产品工艺和活动的整个生命周期。但是，因为在实际生活中，要收集到整个生命周期所有相关过程的信息基本是不可能的，所以大多数时候将 LCA 的范围定为整个生命周期是不现实的。为了保证生命周期评价的准确性，减少不必要的工作量，一些与既定评价目标无关或关系不大的阶段或过程就可以排除在 LCA 的范围之外。CMLCA 范围的确定包括以下内容：

(1)明确工程机械产品的功能规定。对不同的产品进行 LCA 比较时，为了保证评价结果的可信度和实用性，需要确认这些产品在功能上是否相同。工程机械具有结构复杂、生产过程繁琐等特点，因此，对于各功能单元逐一进行评价是不可能，也是不必要的。工程机械产品选择功能单元时，应该针对产品的主要功能进行评价，把注意力放在研究主要问题上。

(2)明确功能单位。进行工程机械产品的生命周期评价的过程中，基于同样的功能，确定实现这一功能所需的产品数量，并以此为基准流。接下来可以根据基准流编制出输入和输出的清单。

3.3.3 CMLCA 的整合评价模型

按照 3.1 节，设一般工程机械对象由 n 个组件构成，任一组件的生产过程包含 m_n 个工序，则有图 3-2 整合评价流程。如图 3-2，CMLCA 分析包括以下步骤：

(1)清单数据的收集：收集每个工序的能量消耗、材料消耗及环境排放数据，以及这些数据的分类构成；

(2)对上述数据进行汇总、整理；

(3)分别进行能源消耗、材料消耗及环境影响的评价计算。

(4) 对评价计算的结果进行说明，并提出改进方案。

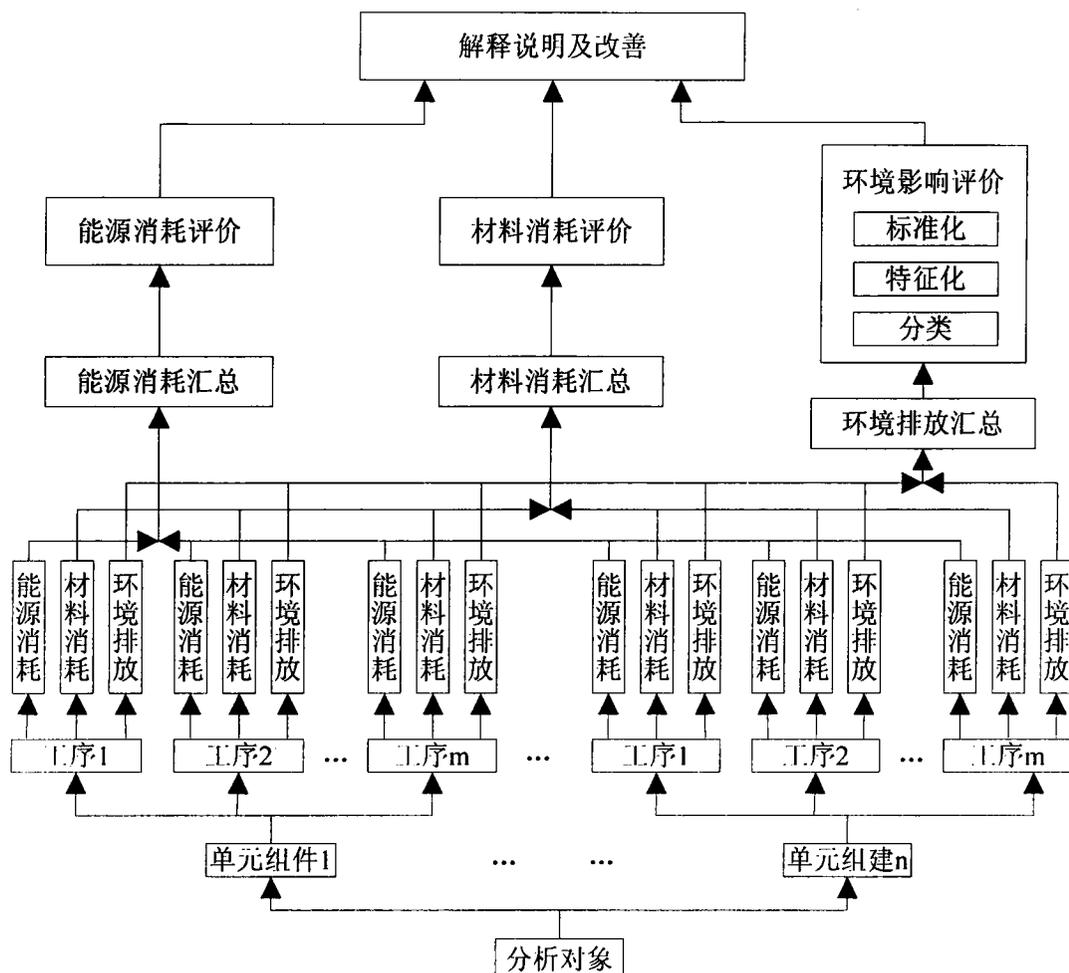


图 3-2 工程机械生命周期整合评价流程图

Figure. 3-2 Flow chart of the LCA for construction machines

2.4 节中已经提到 LCA 的评价方法基本分为三类，根据简式生命周期评价(SLCA)理论更具有针对性、相对性和局部性的特点，CMLCA 采用简式生命周期评价的方法。

3.3.3.1 能源消耗评价

工程机械 LCA 模型中，主要考虑以下 23 种能源：洗中煤、焦炭、原油、原煤、洗精煤、重油热裂煤气、煤田天然气、煤油、柴油、水煤气、燃料油、液化石油、炼厂干气、油田天然气、焦炭制气、气田天然气、焦炉煤气、发生炉煤气、重油催化裂解煤气、压力气化煤气、汽油、电力（当量）、热力（当量）。

依据前述设定的工程机械模型，设 $E_{k,i,j}$ 为生产第 i 个组件的第 j 道工序消耗的第 k 种能源的数量，则第 k 种能源在工程中的总消耗量可计算为：

$$ER_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_n} E_{k,i,j} \quad (3-6)$$

其能源耗竭数 (Energy Deplete Proportion, 简称 EDP) 可计算为:

$$EDP_k = \frac{E_{R_k}}{E_{YR_k}} \times \frac{E_{YR_k}}{E_a} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{k,i,j}}{E_{YR_k}} \times \frac{E_{YR_k}}{E_a} \quad (3-7)$$

式中, E_{R_k} 表示第 k 种能源在工程中的消耗量; E_{YR_k} 表示第 k 种能源的区域年消耗总量; E_{YR_k} 表示第 k 种能源的年产量; E_a 表示能源总产量。

3.3.3.2 材料消耗评价

工程机械 LCA 模型中, 主要考虑淡水、钢铁、有色金属这三种材料。

设 $M_{k,i,j}$ 为生产第 i 个组件的第 j 道工序消耗的第 k 种材料的数量, 则第 k 种材料在工程中的总消耗量可计算为

$$MR_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_n} M_{k,i,j} \quad (3-8)$$

淡水资源的影响评价为:

$$MDP_w = \frac{M_{R_w}}{M_w} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{1,i,j}}{M_w} \quad (3-9)$$

式中, MDP_w 表示淡水资源的耗竭数; M_{R_w} 表示淡水资源在工程中的消耗量; M_w 表示区域淡水资源总量。

钢铁资源的影响评价为:

$$MDP_s = \frac{M_{R_s}}{M_s} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{2,i,j}}{M_s} \quad (3-10)$$

其中, MDP_s 表示钢铁资源的耗竭数; M_{R_s} 表示钢铁资源在工程中的消耗量; M_s 表示区域钢铁的总消耗量。

对有色金属进行分类, $q=1, 2, \dots, 7$ 分别代表铜, 铝, 锌, 铅, 镍, 锡, 铬。

设第 q 种有色金属在第 i 个单元组件的第 j 道工序中的消耗量为 $N_{q,i,j}$ 。则有色金属在第 i 个单元组件的第 j 道工序中的消耗总量为:

$$M_{3,i,j} = \sum_{q=1}^7 N_{q,i,j} \quad (3-11)$$

有色金属资源的影响评价为:

$$MDP_{nonfe} = \frac{M_{R_{nonfe}}}{M_{nonfe}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{3,i,j}}{M_{nonfe}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^7 M_{q,i,j}}{M_{nonfe}} \quad (3-12)$$

其中, MDP_{nonfe} 表示有色金属资源的耗竭数; $M_{R_{nonfe}}$ 表示有色金属资源在工程中的消耗量; M_{nonfe} 表示区域有色金属的总消耗量。

3.3.3.3 环境影响评价

影响评价普遍采用“三步走”的模型，即影响分类(Classification)、特征化(Characterization)和量化(Valuation)。

(1)影响分类

根据产品生命周期评价所要关心的具体环境问题，对产品生命周期过程清单结果进行归类。综合考虑各种情况，选择以下6种环境影响类型进行评价：

①人体健康损害（HT）：从重金属、辐射、恶臭这3方面综合考虑对人体的健康损害。化学把密度大于 5g/cm^3 的金属称为重金属，目前大约有45种。重金属不能被生物降解，相反却能在食物链的生物放大作用下，成千百倍地富集，最后进入人体。重金属在人体内与蛋白质及酶等发生强烈的相互作用，使它们失去活性，也可能在人体的某些器官中累积，造成慢性中毒。例如：铅会通过皮肤、消化道、呼吸道进入人体，造成神经系统、消化系统、血液中毒和其他病变；食入后直接沉入肝脏，对大脑神经视力破坏及大；铬：会造成四肢麻木，精神异常；镉：导致高血压，引起心脑血管疾病；破坏骨钙，引起肾功能失调^[50]。辐射污染会影响人体的循环系统、免疫、生殖和代谢功能，严重的还会诱发癌症、并会加速人体的癌细胞增殖；影响人们的生殖系统主要表现为男子精子质量降低，孕妇发生自然流产和胎儿畸形等；影响人们的心血管系统，使得人体心动过缓、心搏血量减少、窦性心率不齐、白细胞减少、免疫功能下降等^[51]。

②全球变暖影响（GWP）：全球气候变暖的原因是多方面的，但是大气中二氧化碳排放量的增加是造成这一后果的根本原因。全球变暖将给地球和人类带来复杂的潜在的影响。与正面影响相比，全球变暖对人类活动的负面影响将更为巨大和深远，例如：低地被淹，海岸被冲蚀，沿海和岛国居民的生活(占世界1/3的人口)受到威胁，地表水和地下水盐分增加，疟疾、淋巴腺丝虫病、血吸虫病等热带传染病更频繁、普遍地危害人们的健康^[52]。

③臭氧层破坏（ODP）：臭氧可以吸收几乎全部300nm以下波长的紫外辐射，有效地避免了给地球上各种生物造成伤害。有报告称，南极局部性臭氧耗竭率在某些高度超过90%，冬季甚至高达99%，在采集的部分大气样本中，几乎完全没有臭氧^[53]。根据调查，臭氧层浓度每减少1%，地面紫外光辐射将增加2%，导致皮肤癌发病率增加2%-5%。臭氧的耗竭，使地表的紫外光辐射增大，会对人体免疫系统功能产生抑制作用，还会对动植物产生影响，甚至危及生态平衡^[54]。

④酸化影响（AP）：上个世纪九十年代以来，很多国家都出现了雨雪中酸度增高的情况。酸雨的出现对环境造成了严重的损害，也带来了巨大的经济损失。例如：致使湖泊、河流和土壤发生酸化；腐蚀建筑物和露天的文物古迹；损坏植物叶面；使农作物减产甚至死亡等。 SO_2 和 NO_x 是酸雨形成的直接原因。二氧化硫等酸性气体，或

含有氮氧化物的烟尘上升到空中与水蒸气相遇,形成硫酸和硝酸小滴,致使雨水酸化,进而形成酸雨。调查显示,煤和石油的燃烧是造成酸雨的罪魁祸首^[55,56]。

⑤光化学烟雾(POCP):光化学烟雾的特征是烟雾呈蓝色,具有强氧化性。光化学烟雾对鼻、咽喉、气管和肺等呼吸器官有明显的刺激作用,最明显的危害是对人眼睛的刺激作用。在美国加利福尼亚州,由于光化学烟雾的作用,曾使该州75%的人发生红眼病。日本东京1970年发生光化学烟雾时期,有2万人患了红眼病。光化学烟雾对植物的损害也是十分严重的。棉花、烟草、甜菜、莴苣、蕃茄和菠菜等多种农作物都对化学烟雾非常敏感^[57]。据相关当局统计,1959年仅加利福尼亚州由光化学烟雾引起的农作物减产损失就达800万美元。另外,光化学烟雾会加速橡胶制品的老化和龟裂,腐蚀建筑物和衣物,缩短其使用寿命^[58]。

⑥富营养化(NP):富营养化是一种氮、磷等植物营养物质含量过多所引起的水质污染现象。由于人类将大量工业废水和生活污水以及农田径流中的植物营养物质排入湖泊、水库、河口、海湾等缓流水体后,水生生物特别是藻类将大量繁殖,使生物量的种群种类数量发生改变,破坏了水体的生态平衡。另外,富营养化水中含有亚硝酸盐和硝酸盐,人畜长期饮用这些物质含量超过一定标准的水会中毒致病^[59,60]。

(2)特征化

在对环境影响进行分类之后,将相同影响因子下的不同物质对该类影响因子的潜在影响值进行汇总,以期得到每一种影响因子的综合影响指标值,为下一步量化评价提供依据。环境影响潜值是指整个产品系统中相应的环境排放对某种环境影响贡献的总和。第 h 种环境影响的影响潜值($h=1, 2, \dots, 6$)的公式表达为^[61]:

$$EP(h) = \sum EP(h)_f = \sum [Q(f) \times EF(h)_f] \quad (3-13)$$

其中 $h=1, 2, \dots, 6$ 分别代表6类环境污染影响类型。 $EP(h)$ 表示产品系统对第 h 种潜在影响的贡献; $EP(h)_f$ 表示第 f 种排放物对第 h 种潜在影响的贡献; $Q(f)$ 表示第 f 种排放物的排放量; $EF(h)_f$ 表示第 f 种排放物对第 h 种潜在影响的当量因子。

工程机械生命周期评价过程中涉及的各项环境污染影响类型及其当量因子值见表3-2。

表 3-2 各环境污染影响类型及其当量因子值

Fig. 3-2 Various types of environmental pollution and its equivalent factor values

环境影响类型	当量因子
人体健康损害 (HT)	DALY
全球变暖影响 (GWP)	CO ₂ /kg
臭氧层破坏 (ODP)	CFC-11/kg
酸化影响 (AP)	SO ₂ /kg
光化学烟雾 (POCP)	C ₂ H ₄ /kg
富营养化 (NP)	PO ₄ ³⁻ /kg

(3) 标准化

数据标准化的目的是对各种环境影响类型的相对大小提供一个可比较的标准,为进一步评估提供依据。本模型采用的标准化基准由荷兰的标准化基准根据工业总产值的比值推算而出,公式如下:

$$ER(h)_{CH2008} = ER(h)_{NED1997} \times \frac{G_{CH2008}}{G_{NED1997}} \times w \quad (3-14)$$

其中, $ER(h)_{CH2008}$ 表示 2008 年中国环境影响标准化基准; $ER(h)_{NED1997}$ 表示 1997 年荷兰环境影响标准化基准; G_{CH2008} 表示 2008 年中国工业总产值; $G_{NED1997}$ 表示 1997 年荷兰工业总产值; w 表示权重系数,是 2008 年中国单位工业产值污染排放与 1997 年荷兰单位工业产值污染排放的比值。

标准化后的潜在影响为:

$$NEP(h) = \frac{EP(h)}{ER(h)_{CH2003}} \quad (3-15)$$

其中 $NEP(h)$ 表示标准化后的第 h 种环境影响的影响潜值; $EP(h)$ 表示第 h 种环境影响的影响潜值。

第四章 CMLCA 系统的设计和开发

4.1 开发环境及基本架构

CMLCA 系统的开发采用了 Visual Studio 2005 C#+SQL Server2005 的开发环境。开发环境、编程语言和数据库都是当前开发桌面应用程序的主流。

4.1.1 C#语言

C#从 C 和 C++语言演化而来,是 Microsoft 专门为使用.NET 平台而创建的。C#可用来创建要运行在.NET CLR 上的应用程序。

C#具有面向对象、自动内存管理、类型安全、版本控制、组件技术、代码安全管理、跨平台异常处理等优点^[62]。在很多地方 C#和 Java 相似,但是 C#同时借鉴了 Delphi “与 COM(组件对象模型)直接集成”的特点,比 Java 走得很远。以面向对象举例: C++语言不是纯面向对象的,为了提供更高的执行效率以及和 C 兼容, C++保留了很多模块化的东西; Java 尽管一直号称是面向对象的,但实际上, Java 仅提供了方法,对于面向对象应该具备的另外两种构成结构——属性和事件, Java 都要通过方法来模拟;而在 C#中,所有面向对象的概念都体现地非常出色。另外, C#还通过值类型、类类型和接口类型的概念形成了统一的类型系统^[63]。

因为 C#的语法比较简单,所以在开发应用程序的时候使用 C#比使用 C++要简单很多。同时, C#是一种类型安全的语言。与 C++相比, C#代码更健壮,调试也比较简单, .NET 总是可以随时跟踪数据的类型。

作为唯一为.NET Framework 设计的语言, C#的另一个优势是^[63]: 在移植到其他操作系统上的.NET 版本中, C#是使用的主要语言。这是 VB.NET 所不能比拟的。C#能使用.NET Framework 代码库提供的每种功能。为了满足开发人员的要求,使 C#更强大, .NET 的最新版本还对其进行了几处改进。

因为.NET Framework 没有限制应用程序的类型。C#使用.NET Framework, 所以也没有限制应用程序的类型。这里仅介绍三种常见的应用程序类型^[62]。

(1)Windows 应用程序

使用.NET Framework 的 Windows Forms 模块就可以生成这种应用程序,如 Microsoft Office。Windows 应用程序具有我们熟悉的 Windows 外观和操作方式。Windows Form 模块是一个控件库,包括按钮、工具栏、菜单等。其中的控件可以用于建立 Windows 用户界面 (UI)。本课题就是应用 Windows Forms 模块开发生命周期评价系统。

(2) Web 应用程序

Web 应用程序是可以通过任何 Web 浏览器查看的 Web 页。Active Server Pages.NET (简称 ASP.NET) 是 .NET 的组件之一, 它是一个动态生成 Web 内容的强大系统。可以使用 C# 通过 Web Forms 创建 ASP.NET 应用程序。ASP.NET 应用程序具有个性化、实现安全性等特点。

(3) Web 服务

Web 服务 (Web Service) 是基于 XML 和 HTTPS 的一种服务, 它可以通过 Internet 虚拟交换数据。Web 服务可以通过 .NET Framework 中的 Active Data Objects.NET (ADO.NET) 部分来实现。

4.1.2 Visual Studio 2005

Visual Studio 2005 是一个包含很多高效智能的开发工具的全方位工具平台。使用 Visual Studio 2005 (VS 2005) 可以进行包括简单的命令行应用程序, 和较复杂的项目类型在内的所有的 .NET 开发^[64]。Visual Studio 并不是开发 C# 应用程序必须使用的平台, 但是它可以使任务的实现更简单一些。VS 之所以能够成为 .NET 开发的首选工具是有其优势在的^[65]:

(1) VS 包括几个可自动执行常用任务的向导, 利用向导可以在现有的文件中添加合适的代码, 而不需要考虑语法的正确性。

(2) VS 文本编辑器可以配合 VS 支持的语言 (包括 C#), 这样就可以智能检测错误, 在输入代码时给出何时的推荐代码。

(3) VS 包括 Windows Forms 和 Web Form 设计器, 允许 UI 元素的简单拖放设计。

(4) VS 可以自动执行编译源代码的步骤, 同时可以完全控制重写它们时应使用的任何选项。

(5) VS 包含许多强大的工具, 可以显示和导航项目中的元素。这些元素可以是 C# 源文件代码, 也可以是其他资源, 例如位图图像或声音文件。

(6) VS 可以创建部署项目, 以易于为客户提供代码, 并方便地安装该项目。

(7) 在开发项目时, VS 可以使用高级调试技巧, 例如能一次调试一行指令, 并监视应用程序的状态。

4.1.3 SQL Server 2005 Express

SQL Server 2005 Express 是免费、易于使用、可嵌入的 SQL Server 2005 的轻型版本^[66]。SQL Server Express 具有强大的功能, 可以轻松地管理数据库。与 SQL Server 2000 相比, SQL Server 2005 拥有很多重要的新特性, 见表 4-1。

表 4-1 SQL Server 2005 Express 的新特性^[67]
Fig. 4-1 New features of SQL Server 2005 Express

新特性	描述
事务处理 SQL	T-SQL 天生就是基于集合的关系型数据库管理系统编程语言，可以提供高性能的数据访问。现在，它与许多新的特性相结合，包括通过同时使用 TRY 和 CATCH 来进行错误处理，可以在语句中返回一个结果集的通用表表达式（CTEs），以及通过 PIVOT 和 UNPIVOT 命令将列转化为行和行列转化为行的能力。
CLR (Common Language Runtime, 通用语言运行时)	整合了符合 .NET 规范的语言，例如 C#，ASP.NET 或者是可以构建对象（存储过程，触发器，函数等）的 VB.NET。这一点让你可以在数据库管理系统中执行 .NET 代码以充分利用 .NET 功能。它有望在 SQL Server 2000 环境中取代扩展的存储过程，同时还扩展了传统关系型引擎功能。
服务代理 (Service Broker)	服务代理处理的是以松散方式进行联系的发送者和接收者之间的消息。一个消息被发送、处理和回答，完成整个事务。这大大扩展了数据驱动应用程序的性能，以符合工作流或者客户业务需求。
数据加密	SQL Server 2000 没有用来在表自身加密数据的有文档记载的或者公共支持的函数。企业需要依赖第三方产品来满足这个需求。SQL Server 2005 自身带有支持对用户自定义数据库中存储的数据进行加密的功能。
SMTP 邮件	在 SQL Server 2000 中直接发送邮件是可能的，但是很复杂。在 SQL Server 2005 中，微软通过合并 SMTP 邮件提高了自身的邮件性能。
Web 服务	使用 SQL Server 2005，开发人员将能够在数据库层开发 Web 服务，将 SQL Server 当作一个超文本传输协议（HTTP）侦听器，并且为网络服务中心应用软件提供一个新型的数据存取功能。
多活动结果集 (Multiple Active Result Sets, 简称 MARS)	多活动结果集允许从单个的客户端到数据库保持一条持久的连接，以便在每个连接上拥有超过一个的活动请求。这是一个主要的性能改善，它允许开发人员让用户在使用 SQL Server 工作的时候拥有新的能力。例如，它允许多个查询，或者一个查询的同时输入数据。底线就是一个客户端连接可以同时拥有多个活动的进程。
专用管理员连接	这个功能允许数据库管理员对 SQL Server 发起单个诊断连接，即使是服务器正在出现问题。
SQL Server 综合服务 (SSIS)	SSIS 已经作为主要的 ETL（抽取、传输和载入）工作替代了 DTS（数据传输服务），并且随着 SQL Server 免费发布。这个工具，从 SQL Server 2000 开始被完全重新编写，现在已经拥有了很大程度的灵活性，来满足复杂的数据移动需求。

4.1.4 C/S 体系结构

Client/Server (C/S) 体系结构是美国 Borland 公司最早研发的，又称客户机/服务器结构。此结构在客户机上安装相应的软件，同时把数据库内容放在远程的服务器上。最简单的 C/S 体系结构由两部分组成，即客户应用程序和数据库服务器程序^[68]。前台程序是客户机，表示业务逻辑，接受用户的请求，并向数据库服务提出请求；后台程序是服务器，它根据请求将数据提交给客户端，客户端对数据进行计算并将结果呈现给用户。

采用 Client / Server 架构可以充分利用两端硬件环境的优势，将任务合理分配到

Client 端和 Server 端来实现，降低了系统的通讯开销。C/S 结构在技术上很成熟，它的具有交互性强、存取模式安全、网络通信量低、响应速度快、利于处理大量数据等特点。C/S 与 B/S 的区别^[69]，见表 4-2。

表 4-2 C/S 与 B/S 的区别^[69]

Fig. 4-2 Differences between C/S and B/S

	C/S	B/S
硬件环境	一般建立在专用的网络上，小范围里的网络环境，局域网之间再通过专门服务器提供连接和数据交换服务。	建立在广域网之上的，不必是专门的网络硬件环境，例如电话上网，租用设备，信息自己管理，有比 C/S 更强的适应范围，一般只要有操作系统和浏览器就行。
安全要求	一般面向相对固定的用户群，对信息安全控制能力很强。一般高度机密的信息系统采用 C/S 结构适宜，可以通过 B/S 发布部分可公开信息。	建立在广域网之上，对安全的控制能力相对弱，面向是不可知的用户群。
程序架构	更加注重流程，可以对权限多层次校验，对系统运行速度可以较少考虑。	对安全以及访问速度的多重的考虑，建立在需要更加优化的基础之上。比 C/S 有更高的要求，B/S 结构的程序架构是发展的趋势
软件重用	构件的重用性不如在 B/S 要求下的构件的重用性好。	多重结构，要求构件相对独立的功能。能够相对较好的重用。
系统维护	由于整体性，必须整体考察，处理出现的问题以及系统升级难，可能是再做一个全新的系统。	组成方面构件个别的更换，实现系统的无缝升级。系统维护开销减到最小，用户从网上自己下载安装就可以实现升级。
处理问题	可以处理用户面固定，并且在相同区域，安全要求高的需求，与操作系统相关，应该都是相同的系统。	建立在广域网上，面向不同的用户群，分散地域，与操作系统平台关系最小。
用户接口	多是建立在 Window 平台上，表现方法有限，对程序员普遍要求较高。	建立在浏览器上，有更加丰富和生动的表现方式与用户交流，并且大部分难度减低，降低开发成本。
信息流	一般是典型的中央集权的机械式处理，交互性相对低。	B/S 信息流向可变化，B-B、B-C、B-G 等信息流向的变化，更象交易中心。

4.2 评价系统的需求分析

4.2.1 软件介绍

基于网络的工程机械生命周期评价系统是一款以工程机械为对象进行生命周期评价的软件，现已获得计算机软件著作权（登字第 0151968）。不同的用户可以在不同的地点通过网络对建立在软件上的同一个项目进行操作。该软件分为前台操作界面

和后台数据管理界面两部分。利用 SQL Server 2005 数据库技术建立数据库，实现了前台界面与后台管理的关联及数据存储。实施步骤包括目的与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明及改善四部分。其中影响评价又由清单列表、能耗评价、材耗评价、环境影响评价四部分组成。

利用本软件对工程机械整个生命周期，或其零部件的资源消耗、能源消耗和污染排放进行分析，大大缩短生命周期评价时间。为工程机械生产企业摆脱“先污染，后治理”的模式，从最初的设计上就能节能降耗、降低环境影响提供指导。

4.2.2 软件总体目标

<1>设计支持：为工程机械生产企业摆脱“先污染，后治理”的模式，从最初的设计上就能节能降耗、降低环境影响提供指导。

<2>提高效率：利用本软件对工程机械整个生命周期，或其零部件的资源消耗、能源消耗和污染排放进行分析，大大缩短生命周期评价时间。

4.2.3 软件的数据概述

4.2.3.1 静态数据

包括项目名称、执行者、研究目的、应用和研究范围(包括功能单元、系统边界、时间范围、影响评价范围、数据质量要求等)，数据库所在位置，生命周期评价的影响潜值。

4.2.3.2 动态数据

包括用户登录信息、系统时间，清单分析数据，能源消耗、材料消耗以及污染排放对外部环境的影响评价。

4.2.3.3 数据库描述

工程项目库：系统项目的名称，密码，状态等详细信息。

物料库：工程机械生命周期评价中能源消耗、材料消耗以及污染排放的影响潜值。

清单数据库：已知的工程机械组件或工艺能源消耗、材料消耗和向环境（大气、水、土壤）排放的清单数据。

影响评价库：能源消耗、材料消耗以及污染排放对外部环境的影响评价。

4.2.4 软件的功能需求

4.2.4.1 功能划分

按照功能不同可划分为为前台操作模块、后台管理模块及辅助功能模块三大部分。

4.2.4.2 功能描述

<1>前台操作模块：前台操作模块主要提供给使用者进行工程机械的生命周期评价，分为目的与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明及改善四部分。以向导式的计算流程引导用户快速入门和使用软件，有效地防止用户的错误使用。

<2>后台管理模块：后台管理模块提供给软件管理人员使用，便于对生命周期评价中的相关数据进行录入，修正，删除等工作，保证数据的时效性和准确性。

<3>辅助功能模块：提供记事本，计算器，帮助等辅助功能，方便用户随时进行计算和记录。

4.2.5 软件的性能需求

<1>数据精确度

需要精确计算出工程机械的生命周期影响评价，以便帮助工程机械生产企业节能降耗、降低环境影响，所以要求不能有误差。

<2>时间特性

系统响应时间包括时间长度和时间的易变性两个方面。用户响应时间应该适中，系统响应时间过长用户就会感到不安和沮丧，而响应时间过短有时会造成用户加快操作节奏，从而导致错误。系统响应时间的易变性是指相对于平均响应时间的偏差。即使响应时间比较长，低的响应时间易变性也有助于用户建立稳定的节奏。

<3>适应性

针对于工程机械的生命周期评价。

<4>可靠性

软件运行稳定，不易造成信息的异常丢失。

<5>兼容性

对系统其它软件没有任何影响，兼容性较强。

4.2.6 软件的其他需求

可使用性：要求容易使用,界面友好；

安全保密性：由于是基于网络的系统，为了保障项目和用户的安全，要求设有登录密码检验功能,并且此密码可以在后台进行管理和修改。

4.2.7 软件的操作环境

<1>硬件环境：

CPU：Pentium M 同类档次或更高档次以上。

内存：256MB 以上。

硬盘、显卡：无特殊要求

<2>操作系统：

Windows 2000/2003/XP 及以上版本

<3>语言：

简体中文

4.2.8 软件应达到的技术性能

基于网络的工程机械生命周期评价系统应功能强大，可靠，使用方便，最大程度降低使用人员的劳动强度。

软件系统可导入的数据有各种组件的清单，各工艺的清单。

分析软件需分为前台模块，后台模块，辅助模块。前台操作模块主要提供给使用者进行工程机械的生命周期评价，以向导式的计算流程引导用户快速入门和使用软件，有效地防止用户的错误使用。后台管理模块提供给软件管理人员使用，便于对生命周期评价中的相关数据进行录入，修正，删除等工作，保证数据的时效性和准确性。

一些具体要求如下：

(1)前台以向导式的计算流程引导用户快速入门和使用软件，屏幕左侧为工程 LCA 进行到的步骤，右侧为生命周期评价页面；

(2)为了保障项目和用户的安全，要求设有登录密码检验功能,并且此密码可以在后台进行管理和修改；

(3)所有菜单功能应有快捷按钮，用户可以根据自己的需求选择常用的跨境按钮，放在工具栏上，快捷键快捷按钮悬停提示；

(4)项目选择界面。若使用已有项目，点击‘打开项目’，选择相应的项目，并输入项目密码，若正确即可进入相应的项目；

- (5)新建项目时输入项目名称、项目密码，这些都在可以在后台进行管理和修改；
- (6)前台模块分为目的与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明及改善四部分；
- (7)对于项目的评价对象可添加、删除单元组件；
- (8)对于各个单元组件可添加、删除工艺流程；
- (9)对工艺流程可添加清单分析，包括半成品，材料消耗，能源消耗，产品，排放到大气中的物质，排放到水中的物质，排放到土壤中的物质，均采用表格形式；
- (10)清单分析的表格采用自动增长模式，即每输入一行，表格自动增加一行；
- (11)材料消耗、能源消耗、排放到大气中的物质、排放到水中的物质、排放到土壤中的物质的种类名称在表格中采用下拉列表的形式，并可在后台进行添加、删除、修改。
- (12)自动进行影响评价；
- (13)以列表形式将该项目所有单元组件各个工艺的清单分析呈现出来，包括：物质名称，分类，数量，工艺，单元组件，备注；
- (14)在清单列表中，使用不同的颜色表示不同的模块，且按照相同的单元组件，相同的工艺的顺序排列；
- (15)能够以表格形式，按能源的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的消耗数量，并计算出各种能源在项目中的消耗总量，折合成标准煤的消耗总量，并进一步计算出各种能源的耗竭贡献值(EDP)；
- (16)区域年消耗总量和相对需求因子可由用户在后台修改，以保证数据的时效性和准确性；
- (17)能够以表格形式，按物料的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的使用数量，并计算出每种物料的消耗总量；
- (18)能够以表格形式，按排放到环境中物质的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的排放数量，并计算出每种物质的排放总量；
- (19)能够分别计算出该工程对人体健康影响，全球变暖影响，臭氧层破坏影响，酸化影响，光化学烟雾影响，富营养化影响模块这些环境影响的影响潜值；
- (20)自动画出各个环境影响潜值标准化后的柱状图；
- (21)在后台能够对前台清单分析中供选择的材料、能源种类进行管理，可进行添加、修正、删除等工作，并对每种能源的标准煤折算数(kg)，区域年消耗总量(kg)，年产量，能源总产量进行管理；
- (22)能够在后台对排放到大气中的物质，排放到水中的物质，排放到土壤中的物质进行管理，包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响(GWP)当量因子、臭氧层破坏(ODP)当量因子、酸化影响(AP)当量因子、光化学烟雾(POCP)当量因子和富营养化(NP)

当量因子等；

(24)能够在后台对工程项目的名称、密码、创建时间进行查看和管理；

(25)具有查询功能。用户可以任意输入 Cas 代码，化学分子式，中文名称，英文名称中的一项和来源来查询某种物质，以获得该种物质对人体健康，全球变暖，臭氧层破坏，酸化，光化学烟雾，富营养化的当量系数。

4.3 评价系统的设计

根据上一节的需求分析，基于网络的工程机械生命周期评价软件的设计可分为评价系统功能设计、评价系统页面设计、数据库设计和整体框架构建。

4.3.1 评价系统功能设计

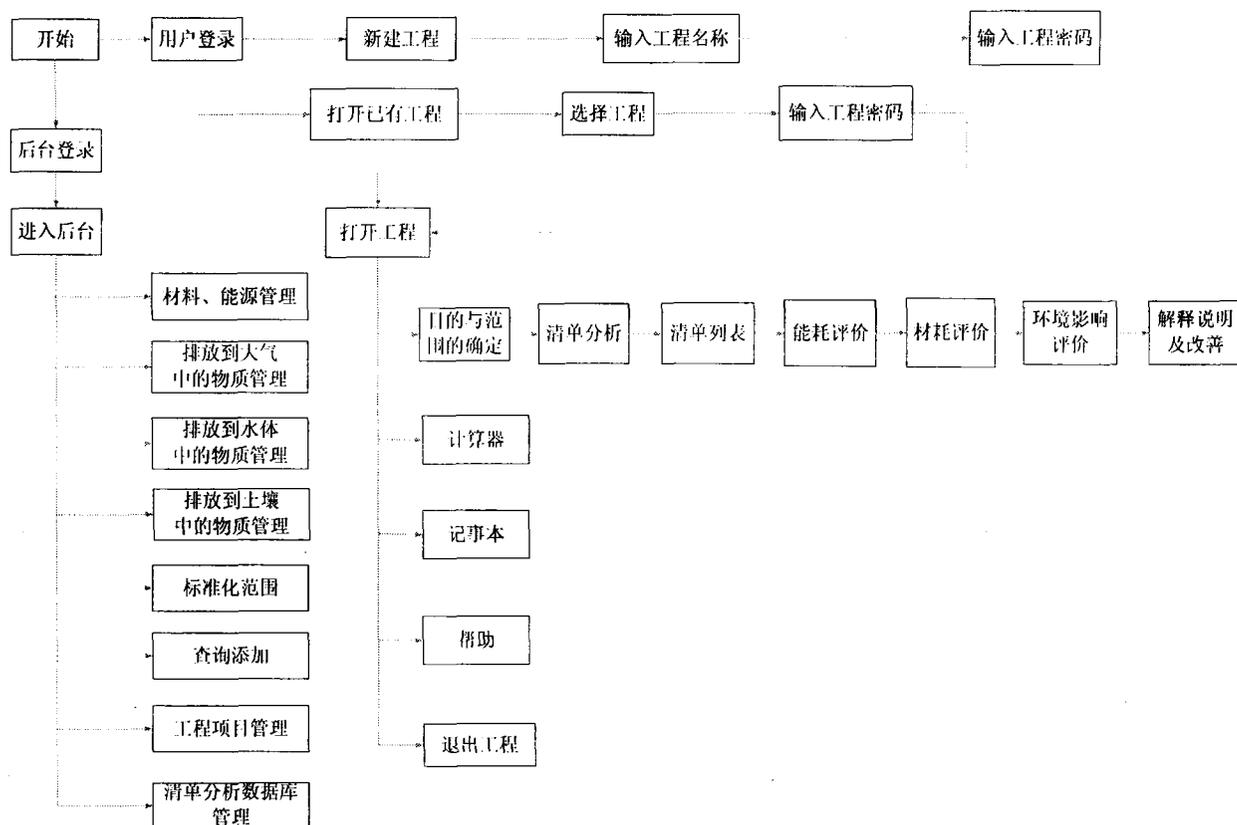


图 4-1 生命周期评价系统功能流程图
Fig.4-1 Functional flow chart of CMLCA system

系统功能流程如图 4-1 所示。打开生命周期评价系统，用户登陆后分为两条线路，即打开已有工程和新建工程。若首次对项目进行评价，请点击‘新建项目’；若使用已有项目，请点击‘打开项目’。新建工程需要输入项目的名称和项目密码。打开已有项目则选择项目，输入该项目的密码，若正确则打开工程，若不正确则会提示“密码错误，请核对！”。

打开工程后，进入生命周期评价的第一步“目的与范围的确定”，填写内容包括：项目名称、执行者、研究目的、研究范围、备注。

第二步“清单分析”收集和确定每个单元组件的每道工序的能源消耗、材料消耗和向环境（大气、水、土壤）的排放。

生命周期评价的影响评价，又分为清单列表，能耗评价，材耗评价，环境影响评价四部分。清单列表要求以表格的形式将该项目所有单元组件各个工艺的清单分析表示出来，列表内容包括：物质名称，分类，数量，工艺，单元组件，备注。能耗评价按能源的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的消耗数量，并计算出各种能源在项目中的消耗总量，折合成标准煤的消耗总量，并进一步计算出各种能源的耗竭贡献值(EDP)。材耗评价按排放到环境中物质的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的排放数量，并计算出每种物质的排放总量；分别计算出淡水资源耗竭数，钢铁耗竭数，有色金属耗竭数，其中有色金属包括铜、铝、锌、铅、镍、锡、镉等金属。环境影响评价分为两部分，排放汇总和环境影响指标。排放汇总以表格形式，按排放到环境中物质的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的排放数量，并计算出每种物质的排放总量。环境影响指标分为影响类型，人体健康影响，全球变暖影响，臭氧层破坏影响，酸化影响，光化学烟雾影响，富营养化影响，部件影响汇总和标准化柱状图九部分。

打开生命周期评价系统后，若想进入后台，需要先进行身份认证。后台管理提供给软件管理人员使用，便于对生命周期评价中的相关数据进行录入，修正，删除等工作，保证数据的时效性和准确性。包括材料、能源管理，排放到大气中的物质管理，排放到水体中的物质管理，排放到土壤中的物质管理，查询添加，标准化范围，工程项目管理，清单分析数据库管理。

4.3.2 评价系统界面设计

人机界面（Human-Computer Interface, HCI）又称用户界面，是人与计算机之间传递、交换信息的媒介和对话接口，是计算机系统的重要组成部分^[70]。它实现信息的内部形式与人类可以接受形式之间的转换。人机界面经历了手工操作，命令语言和图形用户界面（GUI）的三个阶段，但是不管哪一个阶段的设计都遵循有效、正确、友好的原则。

好的人机界面应该方便、美观、操作简单且具有引导功能，能够使用户兴趣增强，心情愉悦，从而提高使用效率。

4.3.2.1 人机界面设计原则

对于任何一款软件，用户才是所有处理的核心。处理过程不应该由应用程序来决定，也不应该由开发者按照自己的意愿把操作流程强加给用户，而是应当由用户来控制软件如何工作、如何响应。好的人机界面应该是用户接触软件后对界面上对应的功能一目了然，不需要多少培训就可以方便使用。

因此要求设计者以用户为中心进行人机界面的设计。在产品生命周期的最初阶段——人机界面的需求分析阶段，应当以满足用户的需求为基本动机和最终目的。用户对界面的需求主要取决于用户的认知水平，不同的用户对界面的需求往往是不同的。因此，在描述用户的界面需求时，首先要弄清楚软件的用户是谁，用户有什么样的特征，用户需要软件做些什么等问题。对于用户的任务要有具体、清晰的描述，并进行任务分析，使解决任务的策略、处理方式和用户特性相一致。其次，为了保持用户和计算机之间良好的匹配和工作协调，应该按照用户的具体情况来相应的调整人机界面的交互方式^[71]。

其后的人机界面的设计和开发过程中，应当将对用户的研究和理解作为各种设计的依据。同时，对用户界面的评估信息应当来源于用户的反馈^[72]。

为了保障软件的开发质量和开发效率，人机界面的设计应遵循以下规范：

(1) 安全性考虑：

开发者应当尽量周全地考虑到各种可能发生的问题，使出错的可能降至最小。

(2) 合理性：

屏幕对角线相交的位置是用户直视的地方，正上方四分之一处为易吸引用户注意力的位置，在放置窗体时要注意利用这两个位置。

(3) 美观与协调性：

界面应该大小适合美学观点，感觉协调舒适，能在有效的范围内吸引用户的注意力。

(4) 易用性：

按钮、菜单名称应该简单易懂，用词准确，尽量不使用有歧义的字眼，并且要区别于同一界面上的其他按钮，最好能望文知意。理想的情况是用户不用查阅帮助就能知道各个按钮菜单的功能并进行相关的正确操作。专业性强的软件要使用相关的专业术语，通用性界面则提倡使用通用性词眼。

(5) 规范性：

通常界面设计都按 Windows 界面的规范来设计，即包含“菜单条、工具栏、工具厢、状态栏、滚动条、右键快捷菜单”的标准格式，可以说：界面遵循规范化的程度越高，则易用性相应的就越好。小型软件一般不提供工具厢。

(6) 帮助设施：

系统应该提供详尽而可靠的帮助文档，在用户使用产生迷惑时可以自己寻求解决方法。

(7) 菜单位置:

菜单是界面上最重要的元素，菜单位置按照按功能来组织。

(8) 独特性:

如果一味的遵循业界的界面标准，则会丧失自己的个性在框架符合以上规范的情况下，设计具有自己独特风格的界面尤为重要。尤其在商业软件流通中有着很好的迁移默化的广告效用。

(9) 快捷方式的组合

在菜单及按钮中使用快捷键可以让喜欢使用键盘的用户操作得更快一些，在西文 Windows 及其应用软件中快捷键的使用大多是一致的。

另外，对于软件用户来说软件界面的合理布局同样是很重要的。界面的整体布局设计应遵循以下原则^[73]:

(1)整体布局整洁，简单明了

(2)屏幕不能拥挤

屏幕总体覆盖度不应该超过 40%，且分组覆盖度不应该超过 62%。

(3)合理使用界面的最佳视区和有效视区

研究表明，人在头部静止而眼睛正常活动的状态下，水平方向的左 25° 为最佳视区；垂直方向的下 0° 到下 30° 为最佳视区。因此，重要信息应尽量落在人的最佳视区内。另外，屏幕对角线相交的位置是用户直视的地方，正上方四分之一处为易吸引用户注意力的位置，在放置窗体时要充分利用这两个位置。同时，为了避免用户漫无目的地浏览，应将有关逻辑关系的内容组合在一起。

(4)界面布局的顺序——从左上角开始

一般来说，人眼习惯于从左到右、从上到下的搜寻扫描运动与顺时针方向运动；另外由于人眼的视觉机能不完全对称，在偏离中央位置同样距离的视野范围内，眼睛对各象限的观察效率按照左上、右上、左下、右下的顺序递减。界面布局应符合人的视觉特点，提高视觉认读效率和准确度。

(5)增加界面视觉平衡感

显示界面的平衡性相当重要，对使用者的心理感受影响也很大。不对称的视觉平面，会让人觉得整个画面是倾斜的；而对称的视觉平面，看起来既整洁又整体，识别性高，符合使用者的心理感受。

4.3.2.2 评价系统界面的详细设计

根据软件的需求要求和功能设计，且遵循人机界面的设计规范，进行了 CMLCA

系统界面的详细设计。下面简单介绍几种界面的详细设计。

(1) 目的与范围页面

界面最上方是工具菜单，其中包含文件、后台管理、帮助菜单，各菜单下还包含各子菜单。文件的子菜单为新建工程、打开工程、关闭工程、退出；后台管理的子菜单为进入后台、退出后台；帮助的子菜单为关于本软件、使用说明。下拉菜单根据菜单选项的含义进行分组，并切按照一定的规则进行排列，用横线隔开。在工具菜单下方是快捷工具栏，其中包含新建工程、打开已有工程、关闭当前项目、计算器、记事本、退出软件。菜单采用“常用--主要--次要--工具--帮助”的位置排列，符合流行的 Windows 风格，深度控制在三层以内，如图 4-2 所示。

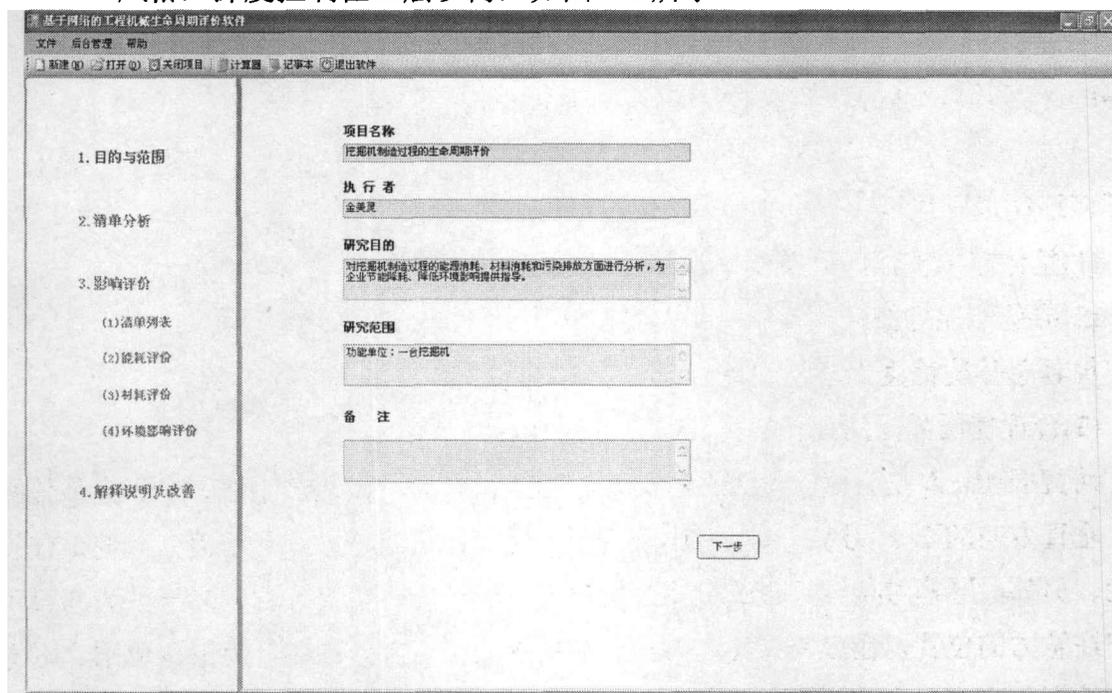


图 4-2 目的与范围页面

Fig.4-2 Goal definition and scoping interface

本着以用户为中心的设计思想，界面的设计采用了向导式。工作区分为了两部分，右侧为主工作区，左侧为生命周期评价的进行步骤，对应不同的界面和内容。进行到哪一步，左侧相应的步骤名称会从灰色变成红色且使能。没有进行到的步骤一直保持灰色且非使能。工程完成后，可以点击左侧使能后的步骤名称，跳转到相应的页面，查看、修改相应的生命周期评价内容。

(2) 清单分析之添加工艺流程页面

清单分析之添加工艺流程页面中，主工作区又分为两部分，左侧为工程的树状图，如图 4-3 所示。根据工程机械的特点，一般的研究对象都由不同的单元组件组成，每一个单元组件又经过一系列工艺加工完成。工程机械这个对象太庞大太复杂，因此工程机械的生命周期评价是收集每个单元组件各个工艺的清单，然后进行评价的。树状图是自动生成、实时更新的，一目了然，可以帮助用户对研究对象有个整体的了解和把握。

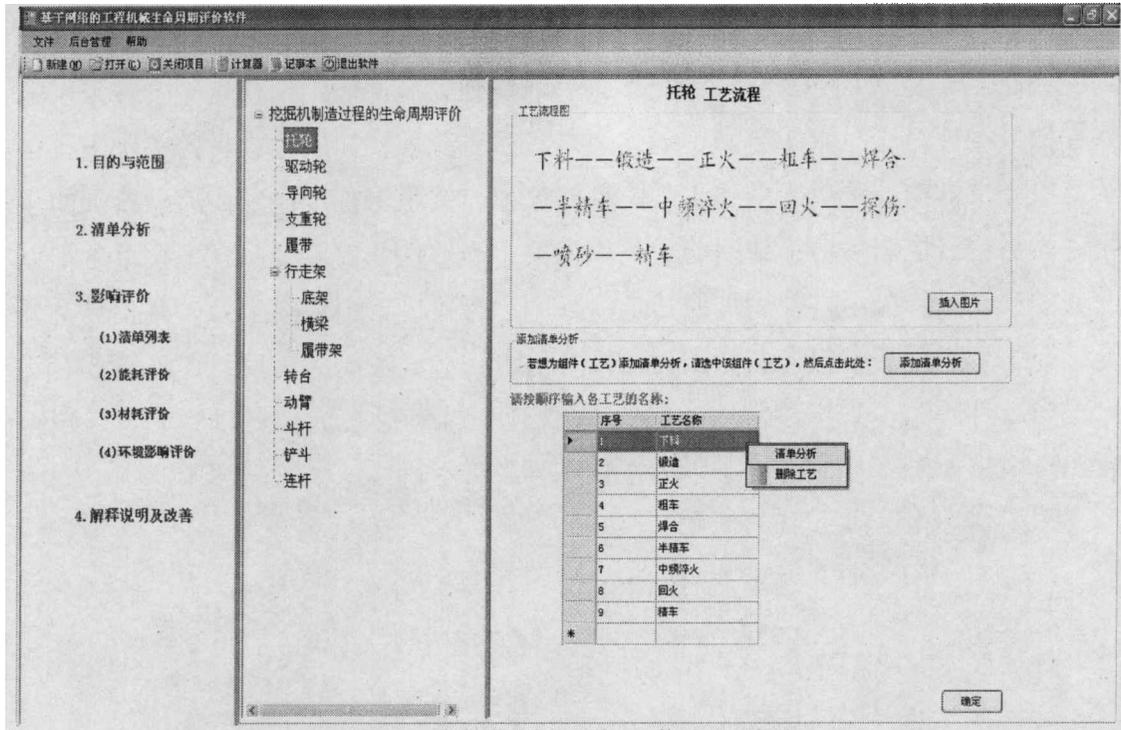


图 4-3 清单分析之添加工艺流程页面
Fig.4-3 Add craft process interface of LCI

(3) 清单分析页面

清单分析页面按输入部分、输出部分将界面划分局域块，用 GroupBox 框括起来，并配上标题，如图 4-4。为了让用户使用更方便快捷，同时保证安全性，材料消耗、能源消耗、排放到大气中的物质、排放到水中的物质、排放到土壤中的物质的种类名称在表格中均采用下拉列表的形式，并可在后台进行添加、删除、修改。清单分析的表格拟采用自动增长模式，即每输入一行，表格自动增加一行。

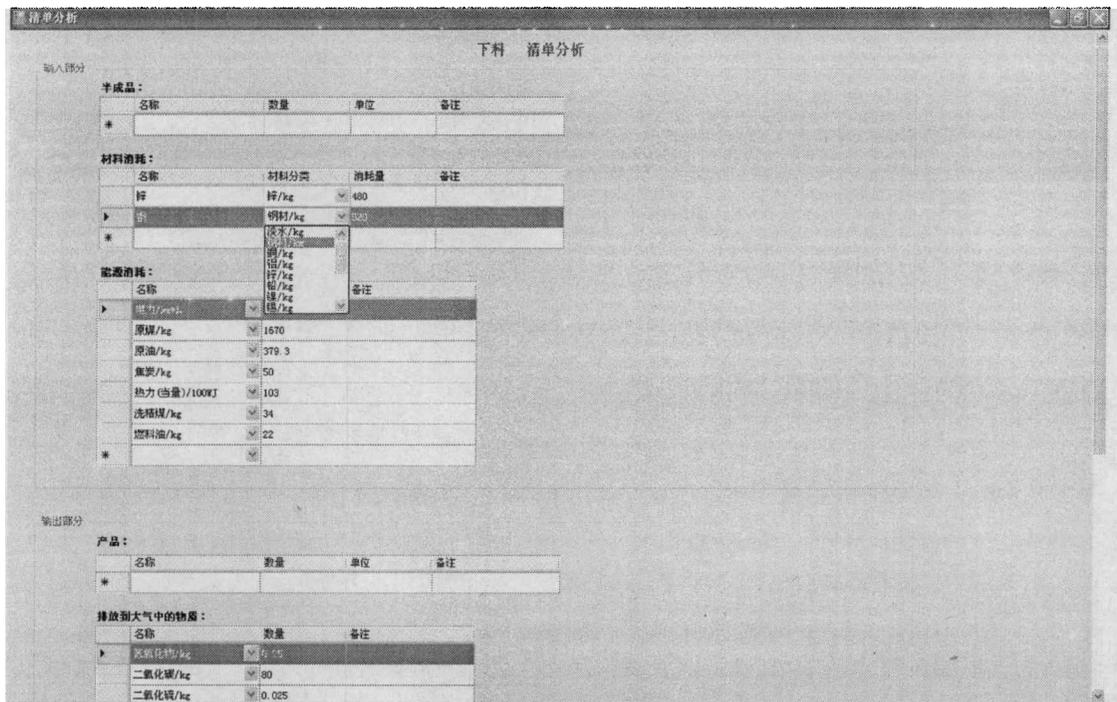


图 4-4 工艺的清单分析页面
Fig.4-4 Life cycle inventory interface

(4) 清单列表页面

为了方便用户浏览查看,达到一目了然的效果,来自不同的模块的内容采用不同的颜色表示——绿色代表材料消耗,红色代表能源消耗,蓝色代表排放到大气中的物质,粉色代表排放到水中的物质,褐色代表排放到土壤中的物质。滚动条的长度根据显示信息的长度或宽度能及时变换,以便利于用户了解显示信息的位置和百分比。如图 4-5 所示。



图 4-5 清单列表页面
Fig.4-5 LCI list interface

(5) 后台管理页面

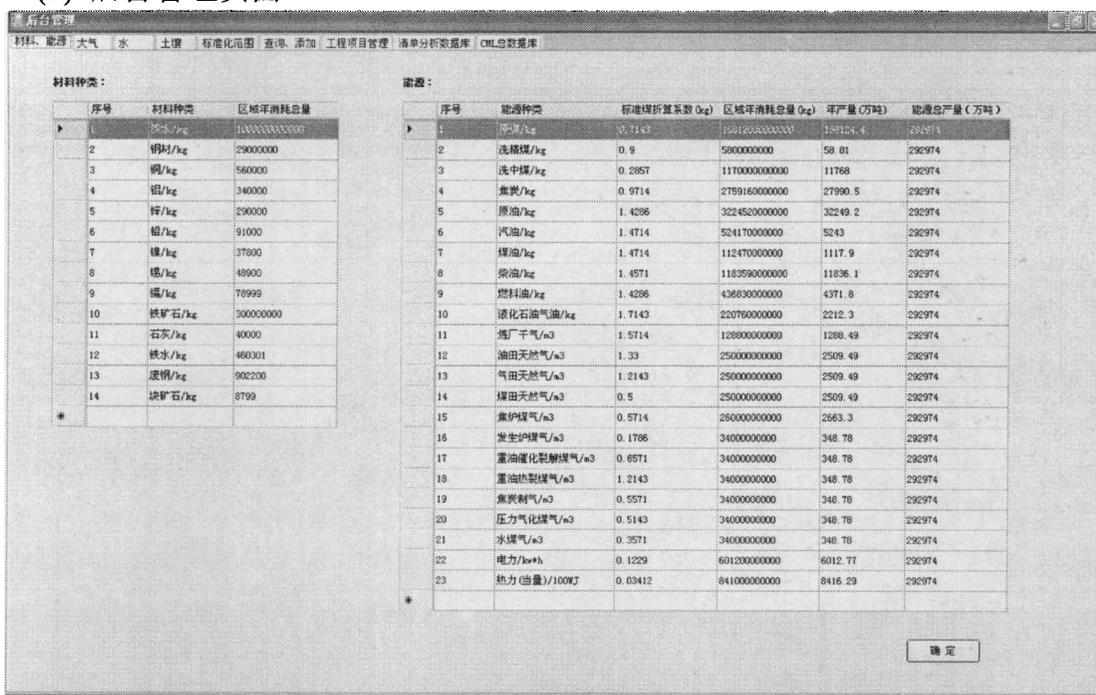


图 4-6 后台管理页面
Fig.4-6 Background management interface

为了保证后台管理的安全性，进入后台管理页面需要先经过身份验证。后台的材料、能源管理，排放到大气中的物质管理，排放到水体中的物质管理，排放到土壤中的物质管理，查询添加，标准化范围，工程项目管理，清单分析数据库管理之间采用分页界面，如图 4-6。分页界面支持在页面间的快捷切换，常用组合快捷键 Ctrl+Tab。界面支持键盘自动浏览按钮功能，即按 Tab 键的自动切换功能。且 Tab 键的顺序与控件排列顺序一致，总体遵从从上到下，再从左到右的方式。布局力求简洁有序，易于操作。

4.3.3 数据库设计

CMLCA 系统的数据库系统主要由 9 个表构成，如图 4-7 所示。

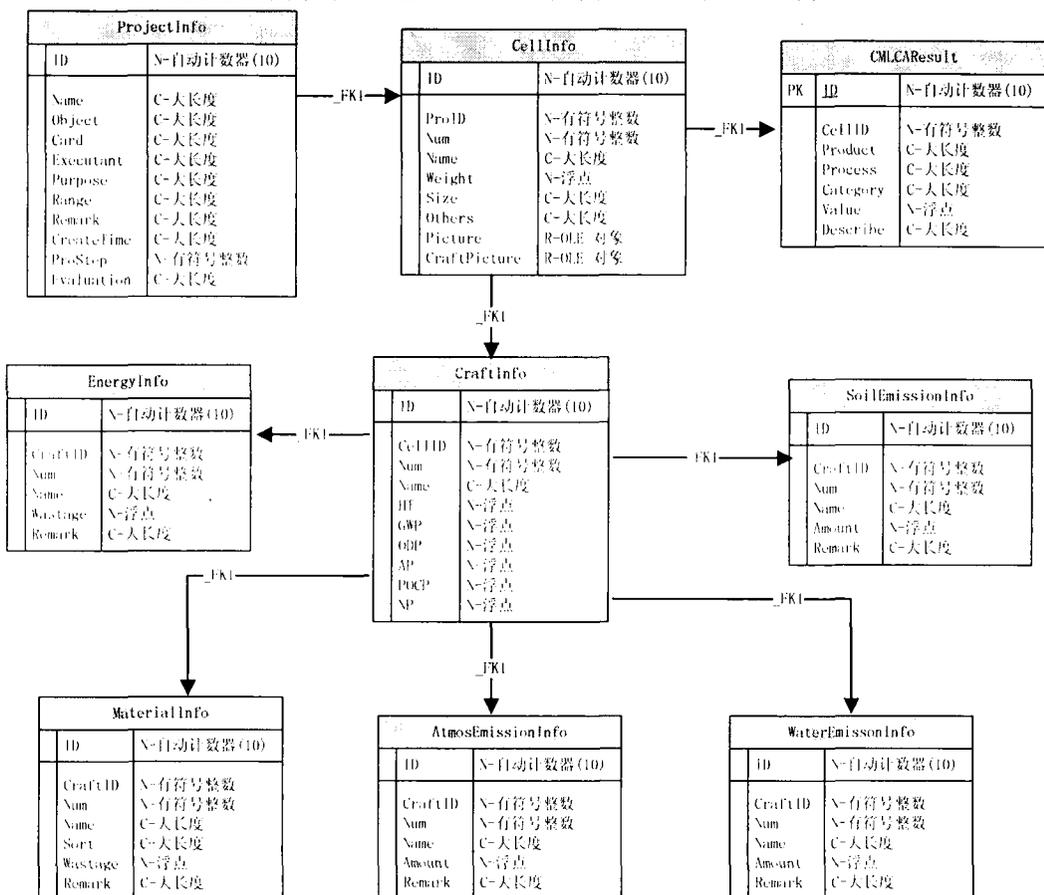


图 4-7 数据库结构设计
Fig.4-7 Database structure design

完整、准确的清单数据是生命周期评价的关键部分，数据的准确性及完整程度直接影响生命周期的评价结果。面对工程机械全生命周期数量庞大、种类繁多的数据信息，如何科学高效地提取和组织数据、建立结构合理的数据模型和数据库，成为 LCA 完整性管理必须要面对和解决的重要问题。本小节建立了工程机械 LCA 完整性数据管理系统^[74]。

(1) 工程信息表(ProjectInfo)是最重要的表,表中包括工程的许多重要参数,以便于后来的评价分析使用。

表 4-3 工程信息表
Table4-3 ProjectInfo Table

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	工程 ID
ame	varchar(50)	Checked	工程名称
Object	varchar(50)	Checked	研究对象
Card	varchar(50)	Checked	工程密码
Executant	varchar(50)	Checked	工程执行者
Purpose	text	Checked	研究目的
Range	text	Checked	研究范围
Remark	text	Checked	备注
CreateTime	varchar(50)	Checked	创建时间
ProStep	int	Checked	操作步骤
Evaluation	text	Checked	解释说明及改善

(2) 单元组件信息表(CellInfo)记录单元组件相关的信息,包括单元组件的名称、重量、大小,对应的工程 ID 等。

表 4-4 单元组件信息表
Table4-4 CellInfo Table

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	单元组件 ID
ProID	int	Unchecked	工程 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	单元组件名称
Weight	float	Checked	重量
Size	varchar(50)	Checked	大小
Others	text	Checked	其他
Picture	image	Checked	图片
CraftPicture	image	Checked	工艺图片

(3) 生命周期评价影响潜值表(CMLCAResult)以单元组件为单位记录了此单元组件对于全球变暖影响(GWP)、臭氧层破坏(ODP)、酸化影响(AP)、光化学烟雾(POCP)、富营养化(NP)的影响潜值。

表 4-5 生命周期评价影响潜值表
Table4-5 CMLCAResult

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CellID	int	Checked	单元组件 ID
Product	nvarchar(50)	Unchecked	工程研究对象
Process	nvarchar(50)	Unchecked	单元组件
Category	nvarchar(50)	Unchecked	环境影响类型
Value	float	Unchecked	影响潜值
Describe	ntext	Checked	备注、注解

(4)工艺信息表(CraftInfo) 记录工艺相关的信息, 包括工艺的名称、序号, 对应的单元组件 ID 等。

表 4-6 工艺信息表
Table4-6 CraftInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	工艺 ID
CellID	int	Unchecked	单元组件 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Checked	工艺名称
HT	float	Checked	人体健康影响
GWP	float	Checked	全球变暖影响
ODP	float	Checked	臭氧层破坏
AP	float	Checked	酸化影响
POCP	float	Checked	光化学烟雾
NP	float	Checked	富营养化

(5)排放到大气中的物质信息表(AtmosEmissionInfo) 记录各工艺排放到大气中的物质的信息, 包括物质名称、数量、备注, 以及对应的工艺 ID。

表 4-7 排放到大气中的物质信息表
Table4-7 AtmosEmissionInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CraftID	int	Checked	工艺 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	排入大气的物质名称
Amount	float	Unchecked	数量
Remark	text	Checked	备注

(5) 排放到水体中的物质信息表(WaterEmissionInfo)记录各工艺排放到水体中的物质的信息, 包括物质名称、数量、备注, 以及对应的工艺 ID。

表 4-8 排放到水体中的物质信息表
Table4-8 WaterEmissionInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CraftID	int	Checked	工艺 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	排入水体的物质名称
Amount	float	Unchecked	数量
Remark	text	Checked	备注

(6) 排放到土壤中的物质信息表(SoilEmissionInfo)记录各工艺过程中排放到土壤中的物质信息, 包括物质名称、数量、备注, 以及对应的工艺 ID。

表 4-9 排放到土壤中的物质信息表
Table4-9 SoilEmissionInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CraftID	int	Checked	工艺 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	排入土壤的物质名称
Amount	float	Unchecked	数量
Remark	text	Checked	备注

(8)材料消耗信息表(MaterialInfo) 记录各工艺过程中的材料消耗信息,包括所消耗材料的名称、种类、数量,以及对应的工艺 ID。

表 4-10 材料消耗信息表
Table4-10 MaterialInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CraftID	int	Checked	工艺 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	消耗材料的名称
Sort	varchar(50)	Unchecked	种类
Wastage	float	Unchecked	数量
Remark	text	Checked	备注

(9) 能源消耗信息表(EnergyInfo) 记录各工艺过程中的材料消耗信息,包括所消耗材料的名称、种类、数量,以及对应的工艺 ID。

表 4-11 能源消耗信息表
Table4-11 EnergyInfo

字段	类型	是否为空	描述
ID	int	主键, 自动编号	ID
CraftID	int	Checked	工艺 ID
Num	int	Checked	序列号
Name	varchar(50)	Unchecked	消耗材料的名称
Wastage	float	Unchecked	数量
Remark	text	Checked	备注

4.3.4 整体框架设计

评价系统采用 C/S 体系结构,即客户机和服务器结构,具有响应速度快,数据安全性高,人机交互性好等特点。逻辑上分为表现层和数据层。表现层为一般用户可见的前台界面,采用 Windows 风格,负责直接跟用户进行交互,直接从数据层提取数据,提供用户权限的合法性判断、数据库后台管理、图形绘制、数据处理、及影响评价等功能;数据层用来存储数据,具有数据检索和数据报表输出等功能。

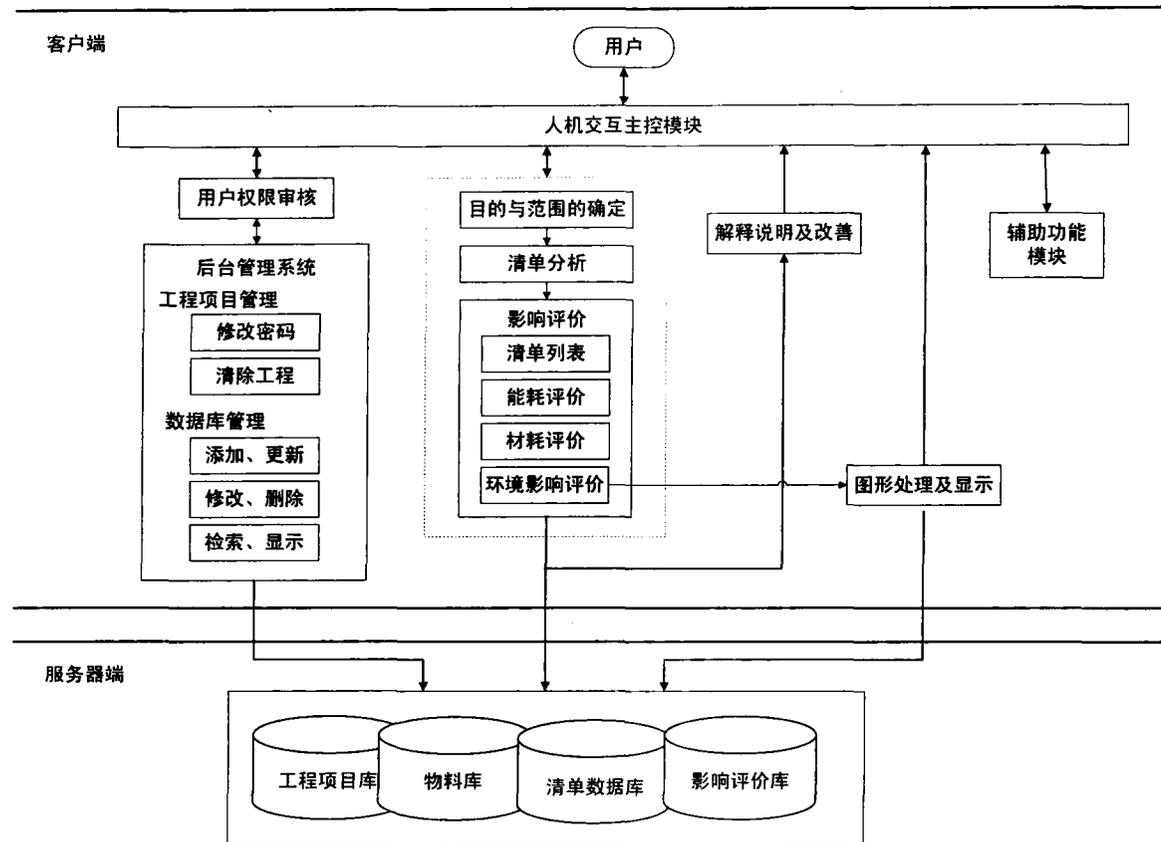


图 4-8 系统的体系结构

Fig. 4-8 System architecture

系统的体系结构如图 4-8 所示，主要分为三大部分，即前台操作模块、后台管理模块及辅助功能模块。

前台操作模块为主要模块，提供给使用者进行工程机械的生命周期评价，分为目的与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明及改善四部分。以向导式的计算流程引导用户快速入门和使用软件，有效地防止用户的错误使用。

(1)目的与范围的确定模块。目的与范围的确定是生命周期评价的第一步，它直接影响到整个评价工作程序和最终的研究结论的准确度，甚至会导致结论的错误。在本系统中该模块被设计为文本输入形式，用户将项目名称、执行者、研究目的、应用和研究范围(包括功能单元、系统边界、时间范围、影响评价范围、数据质量要求等)的内容以文本的形式输入到系统中。用户可以进行添加、修改、删除等操作。

(2)清单分析模块。不同于材料、包装等对象，工程机械由很多不同的单元组件组成，每个单元组件又经过一系列工序制造而成。本模块根据工程机械生产的特点，对每个单元组件的每道工序的能源消耗、材料消耗和向环境（大气、水、土壤）的排放进行数据的收集和确定。清单分析过程主要由用户和计算机交互完成，系统记录用户的输入信息，并将其存储在相应的数据库中，完成清单分析的同时为影响评价准备必需的数据。

(3)影响评价模块。影响评价是生命周期评价(LCA)的核心内容，也是难度最大的部分。本模块对清单阶段所辨识出来的环境负荷影响进行定量和定性的描述和评价，

包括清单列表, 能耗评价, 材耗评价, 环境影响评价四个部分, 整个过程由系统自动完成。影响评价计算后得到的工程机械产品的环境影响潜值, 一方面可以识别制造阶段对环境影响最大的单元组件和工序, 从而有针对性的对产品生产工艺进行改进; 另一方面, 可以分析比较评价系统内的不同方案, 从而选择对环境更加友好的方案。

(4)解释说明及改善模块。在本模块管理员或者用户根据规定的目的和范围, 综合考虑清单分析和影响评价的发现, 寻求在工程机械产品、工艺或活动的整个生命周期减少原材料使用、能源消耗以及污染排放的机会, 提出改善的措施, 比如重新衡量选择原材料、改进生产工艺、改变产品结构等。

后台管理模块提供给软件管理人员使用, 便于对生命周期评价中的相关数据进行录入, 修正, 删除等工作, 保证数据的时效性和准确性。包括材料、能源管理, 排放到大气中的物质管理, 排放到水体中的物质管理, 排放到土壤中的物质管理, 查询添加, 工程项目管理, 清单分析数据库管理。

(1)材料、能源管理。对前台清单分析中供选择的材料、能源种类进行管理, 可进行添加、修正、删除等工作。并对每种能源的标准煤折算数 (kg), 区域年消耗总量 (kg), 年产量, 能源总产量进行管理。

(2)排放到大气中的物质管理。对前台清单分析中排放到大气中的物质下拉列表中的物质种类, 包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响 (GWP) 当量因子、臭氧层破坏 (ODP) 当量因子、酸化影响 (AP) 当量因子、光化学烟雾 (POCP) 当量因子、富营养化 (NP) 当量因子进行管理, 可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块, 从物料数据库中查询出排放到大气中的物质的信息然后直接添加到排放到大气中的物质模块。

(3)排放到水体中的物质管理。对前台清单分析中排放到水体中的物质下拉列表中的物质种类进行管理, 包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响 (GWP) 当量因子、臭氧层破坏 (ODP) 当量因子、酸化影响 (AP) 当量因子、光化学烟雾 (POCP) 当量因子、富营养化 (NP) 当量因子进行管理, 可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块, 从物料数据库中查询出排放到水体中的物质的信息然后直接添加到排放到水体中的物质模块。又分为对海水和淡水的排放。

(4)排放到土壤中的物质管理。对前台清单分析中排放到土壤中的物质下拉列表中的物质种类, 包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响 (GWP) 当量因子、臭氧层破坏 (ODP) 当量因子、酸化影响 (AP) 当量因子、光化学烟雾 (POCP) 当量因子、富营养化 (NP) 当量因子进行管理, 可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块, 从物料数据库中查询出排放到土壤中的物质的信息然后直接添加到排放到土壤中的物质

模块。又分为对工业土壤和农业土壤的排放。

(5)查询添加。用户可以任意输入 Cas 代码,化学分子式,中文名称,英文名称中的一项和来源来查询某种物质,以获得该种物质对人体健康,全球变暖,臭氧层破坏,酸化,光化学烟雾,富营养化的当量系数。点击“添加”按钮,即可把该物质和对各种影响的当量系数添加到相应的数据后台中,方便前台进行各种影响潜值的计算。

(6)工程项目管理。对工程项目的名称、密码、创建时间进行查看和管理。

(7)清单分析数据库管理。前台清单分析中直接为组件或工艺添加清单分析的后台管理,分为组件清单分析和工艺清单分析。可以在后台查看数据库中的清单分析,进行相应的添加、修改、删除,也可以创建新的清单分析表。

辅助功能模块提供记事本,计算器,帮助等辅助功能,方便用户随时进行计算和记录。

4.4 评价系统的实现

基于网络的工程机械生命周期评价系统主要分为前台操作模块、后台数据管理模块以及辅助功能模块。前台操作模块主要提供给使用者进行工程机械的生命周期评价,分为目的与范围的确定、清单分析、影响评价和解释说明及改善四部分。以向导式的计算流程引导用户快速入门和使用软件,也能有效地防止用户的错误使用。后台数据管理模块提供给软件管理人员使用,便于对生命周期评价中的相关数据进行录入,修正,删除等工作,保证数据的时效性和准确性。

4.4.1 前台操作模块的实现

4.4.1.1 欢迎界面和初始界面

打开软件,首先看到的是欢迎界面,如图 4-9 所示。点击“开始”按钮,开始生命周期评价操作。跳转到初始页面,如图 4-10 所示。此时左侧一排按钮非使能化,右侧页面也是灰色的,提示用户“若首次对项目进行评价,请点击‘新建项目’;若使用已有项目,请点击‘打开项目’”。因为不同的用户可以在不同的地点通过网络对建立在软件上的同一个项目进行操作,为了保证软件使用的安全性,每个项目的新建都要设置密码。用户在打开已有项目的时候,也要输入密码确认。例如新建项目“挖掘机制造过程的生命周期评价”,此时“1.目的与范围”按钮使能,同时跳转到目的与范围界面。工具栏有计算器和记事本等功能按钮,方便用户随时进行计算和记录。



图 4-9 欢迎界面
Fig.4-9 Welcome interface

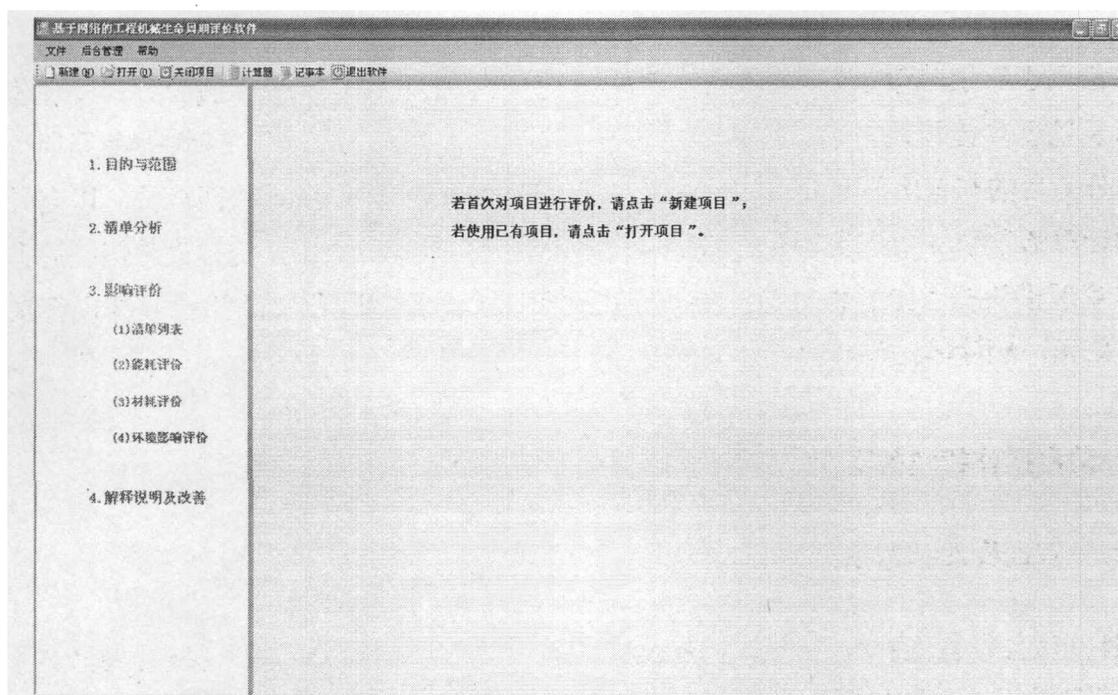


图 4-10 初始界面
Fig. 4-10 Initial interface

4.4.1.2 目的与范围

目的与范围的确定是生命周期评价的第一步，它直接影响到整个评价工作程序和最终的研究结论的准确度，甚至会导致结论的错误。目的与范围界面，如图 4-2 所示。包括：项目名称、执行者、研究目的、研究范围、备注。用户填写好以后，点击“下一步”按钮，跳转到清单分析页面。

4.4.1.3 清单分析

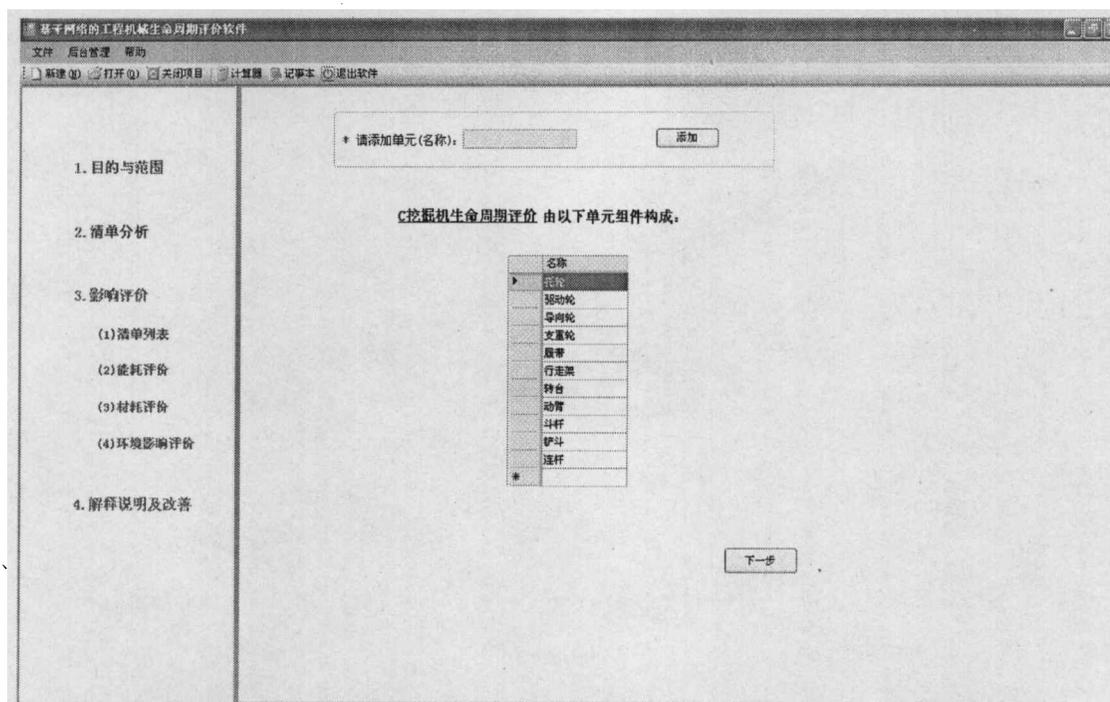


图 4-11 清单分析之添加单元组件

Fig. 4-11 Add cell of LCI interface

页面左侧“2.清单分析”按钮使能化，表明进行到清单分析这一步，如图 4-11。页面的右上方有提示“请添加单元（名称）：”，在此处逐个添加组成机械工程的单元组件名称，点击“添加”按钮即可，若将要添加的单元组件名称与已添加的重复，软件将会自动提示“已有该单元组件”。部分代码如下所示：

```
private void btnAdd_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (txtAddCell.Text.Trim() != "")
    {
        string strSql = "";
        strSql = "select * from CellInfo where Name like " +
txtAddCell.Text.Trim() + "and ProID=" + CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString();
        DataTable dt = CurrentApp.SqlConnect.DBSelectToDT(strSql);
        if (dt.Rows.Count == 0)
        {
            DataTable dtCell=
CurrentApp.SqlConnect.DBSelectToDT("select * from CellInfo where ProID=" +
CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString());
            int num = dtCell.Rows.Count + 1;
            strSql = "insert into CellInfo(ProID,Num,Name) values (" +
CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString() + "," + num.ToString() + "," +
txtAddCell.Text.Trim() + ")";
            CurrentApp.SqlConnect.DBCommand(strSql).ExecuteNonQuery();
            GVCellInfoDataBind();
            txtAddCell.Text = "";
        }
    }
    else

```

```

    {
        txtAddCell.Text = "";
        MessageBox.Show("已有该单元组件");
    }
}
else
{
    MessageBox.Show("请输入单元组件名称");
}
}
}

```

所添加的单元组件会以列表形式显示在页面下方，一目了然，倘若发现单元组件名称添加有误，可在此处点击右键，进行删除。完成以后，点击“下一步”按钮，跳转到清单分析的第二个页面，添加各个单元组件的工艺流程，如图 4-12 所示。

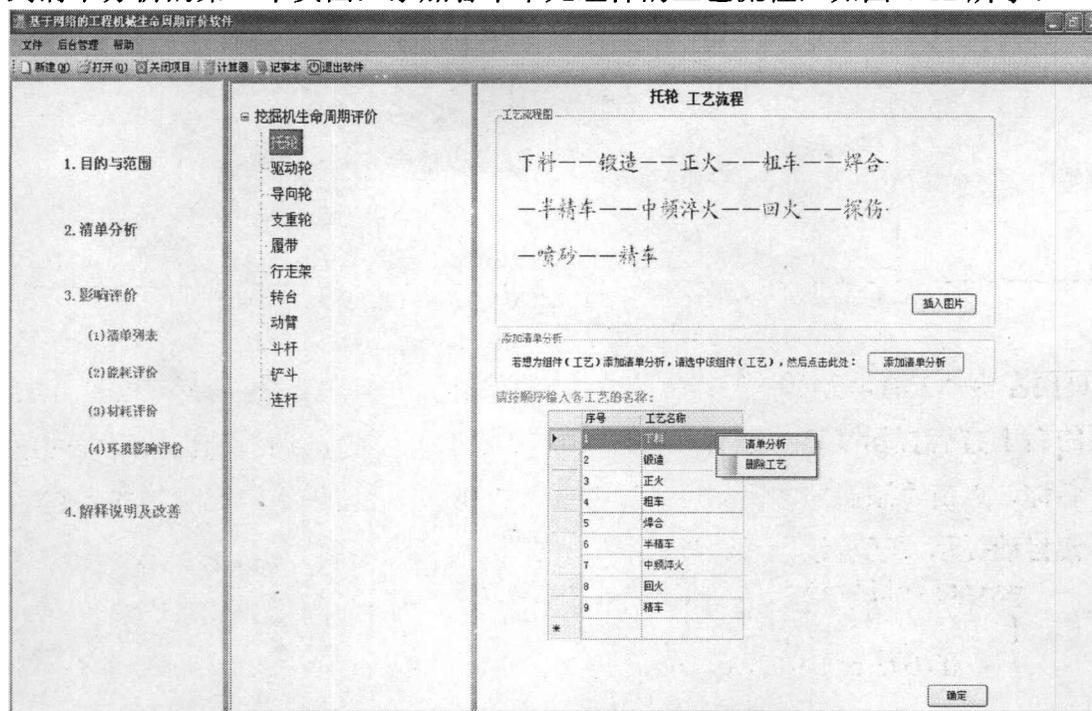


图 4-12 清单分析之添加工艺流程

Fig. 4-12 Add craft process page of LCI

主页面左侧显示工程单元组件的树状图。在单元组件上单击右键，打开右键菜单，还可以分别实现删除，添加属性，添加下属组件，添加工艺流程等功能。左键双击二级节点工程的单元组件名称也可为单元组件添加工艺流程。点击“插入图片”按钮，在电脑中选择相应组件的工艺流程图，添加到工艺流程图框中。在下方表格中，按顺序输入各工艺名称。每输入一行，表格会自动增加一行，简约大方，方便用户使用。工艺输入完毕后，点击“确定”按钮。若工艺名称输入有误，可以右键单击表格中的工艺，在右键菜单中选择“删除工艺”。在右键菜单中选择“清单分析”，则进入清单分析页面。清单分析页面分为输入部分和输出部分两大部分，遵循物质守恒和能量守恒原则。输入部分由半成品，材料消耗，能源消耗三个表格组成；输出部分由产品，排放到大气中的物质，排放到水中的物质，排放到土壤中的物质四个表格组成。分别填写好信息数据以后，点击最下方的“确定”按钮。有误的数据还可以在表格中直接

修改或删除，改后点击“确定”按钮确认即可。

工作区左侧的工程树状图，一级节点为项目的名称，二级节点为工程的单元组件名称，此树状图是根据上一个页面录入的信息自动生成的，代码如下：

```

public void TreeViewLoad()
{
    if (!bIsTreeLoad)
    {
        reeView1.Nodes.Clear();
        DataSet ds = new DataSet();
        string strSql = "select * from CellInfo where ProID=" +
CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString();
        CurrentApp.SqlConnect.DBDataAdapter(strSql).Fill(ds, "Cell");

        TreeNode tn1 = new TreeNode();
        string strSql2 = "select count(*) from CellInfo where ProID=" +
CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString();
        int count =
(int)CurrentApp.SqlConnect.DBCommand(strSql2).ExecuteScalar();
        //添加根节点
        tn1.Tag = CurrentApp.ProjectInfo.ProID.ToString();
        tn1.Text = CurrentApp.ProjectInfo.ProName;
        tn1.Name = "Father";
        treeView1.Nodes.Add(tn1);
        for (int i = 0; i < count; i++)
        {
            //添加当前节点的子节点
            TreeNode tn2 = new TreeNode();
            tn2.Name = "Cell" + i.ToString();
            tn2.Text = ds.Tables["Cell"].Rows[i]["Name"].ToString();
            tn2.Tag = ds.Tables["Cell"].Rows[i]["ID"].ToString();
            tn1.Nodes.Add(tn2);

            DataTable dtChildCell =
CurrentApp.SqlConnect.DBSelectToDT("select * from ChildCellInfo where FatherCellID
= " + tn2.Tag + "");
            int nchildcount =
(int)CurrentApp.SqlConnect.DBCommand("select count(*) from ChildCellInfo where
FatherCellID = " + tn2.Tag + "").ExecuteScalar();
            if (nchildcount > 0)
            {
                for (int j = 0; j < nchildcount; j++)
                {
                    //添加当前节点的子节点
                    TreeNode tn3 = new TreeNode();
                    tn3.Name = "ChildCell";
                    tn3.Text = dtChildCell.Rows[j]["Name"].ToString();
                    tn3.Tag = dtChildCell.Rows[j]["ID"].ToString();
                    tn2.Nodes.Add(tn3);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    tn1.ExpandAll();
}
bIsTreeLoad = true;
}

```

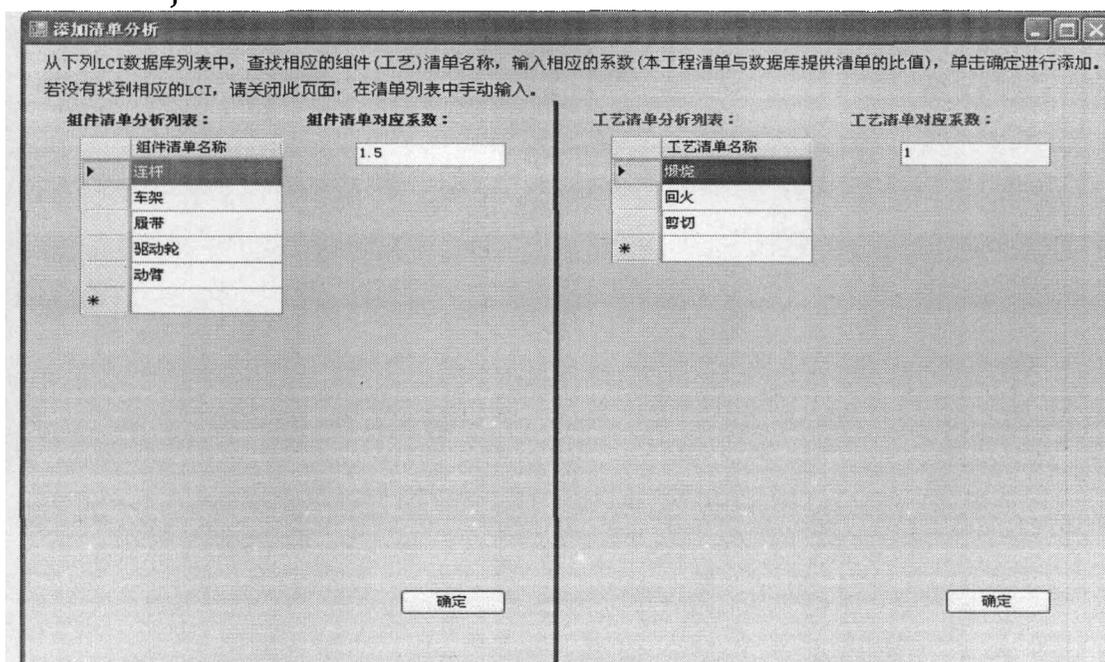


图 4-13 添加清单分析页面

Fig. 4-13 Add LCI interface

添加清单分析功能。选中想要直接添加清单分析的单元组件或工艺，然后点击“添加清单分析”按钮，显示界面如图 4-13 所示。从下列 LCI 数据库列表中，查找相应的组件(工艺)清单名称，输入相应的系数(工程清单与数据库提供清单的比值)，单击确定进行添加。若没有找到相应的 LCI，请关闭此页面，在清单列表中手动输入。

4.4.1.4 影响评价

影响评价是生命周期评价(LCA)的核心内容，也是难度最大的部分。它是对清单阶段所辨识出来的环境负荷影响进行定量和定性的描述和评价。本软件影响评价分为清单列表，能耗评价，材耗评价，环境影响评价四个部分。

(1) 清单列表

清单列表是该项目所有单元组件各个工艺的清单分析列表，包括：物质名称，分类，数量，工艺，单元组件，备注。为了方便用户浏览查看，使用不同的颜色表示不同的模块。例如：绿色代表材料消耗，红色代表能源消耗，蓝色代表排放到大气中的物质，粉色代表排放到水中的物质，褐色代表排放到土壤中的物质。

(2) 能耗评价

能耗评价页面分为两部分，数据汇总和能量消耗评价。数据汇总部分：以表格形式，按能源的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的使用数量，并计算出各种能源在项目中的消耗总量，折合成标准煤的消耗总量 (kg)。

能量消耗评价部分：利用公式

$$\text{耗竭贡献值} = \frac{\text{折标准煤总量 (kg)}}{\text{区域年消耗总量 (kg标准煤)}} \times \text{相对需求因子} \quad (4-1)$$

计算出各种能源的耗竭贡献值，其中区域年消耗总量和相对需求因子可由用户在后台修改，以保证数据的时效性和准确性。

(3) 材料评价

材料评价页面，如图 4-14 所示，分为两部分，数据汇总和材料消耗评价。数据汇总部分：以表格形式，按物料的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的使用数量，并计算出每种物料的消耗总量。材料消耗评价部分：分别计算出淡水资源耗竭数，钢铁耗竭数，有色金属耗竭数，其中有色金属包括铜、铝、锌、铅、镍、锡、镉等金属。

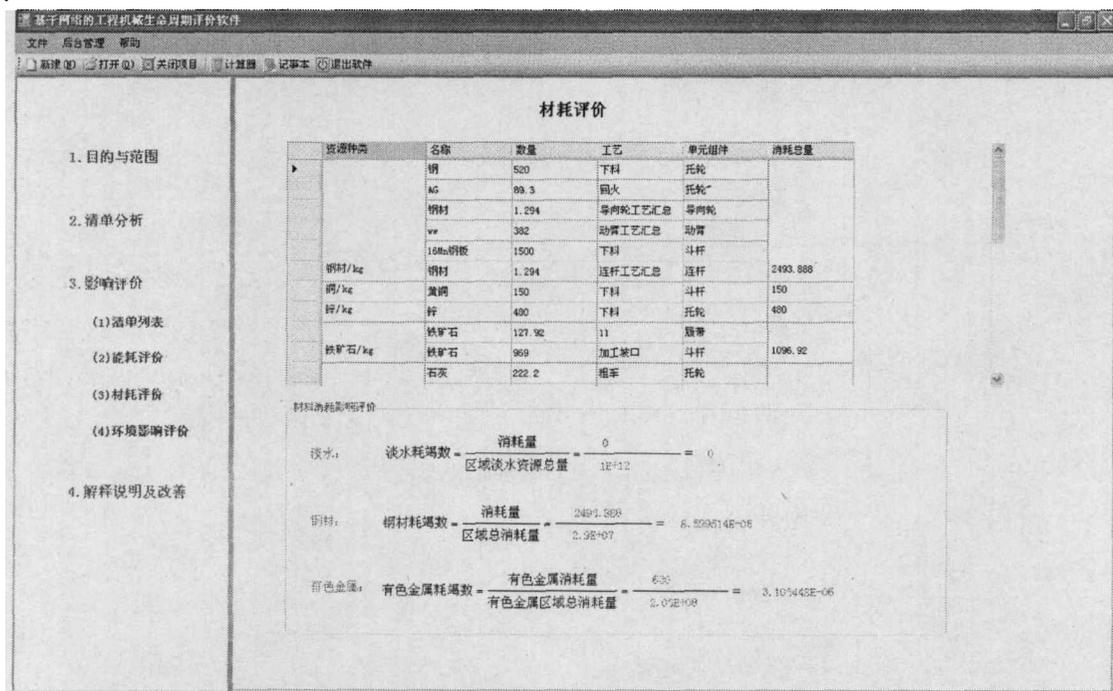


图 4-14 材料评价

Fig. 4-14 Material Consumption Evaluation

(4) 环境影响评价

环境影响评价页面分为两部分，排放汇总和环境影响指标，如图 4-15 所示。排放汇总以表格形式，按排放到环境中物质的种类分别列出了其在各单元组件各工艺中的排放数量，并计算出每种物质的排放总量。

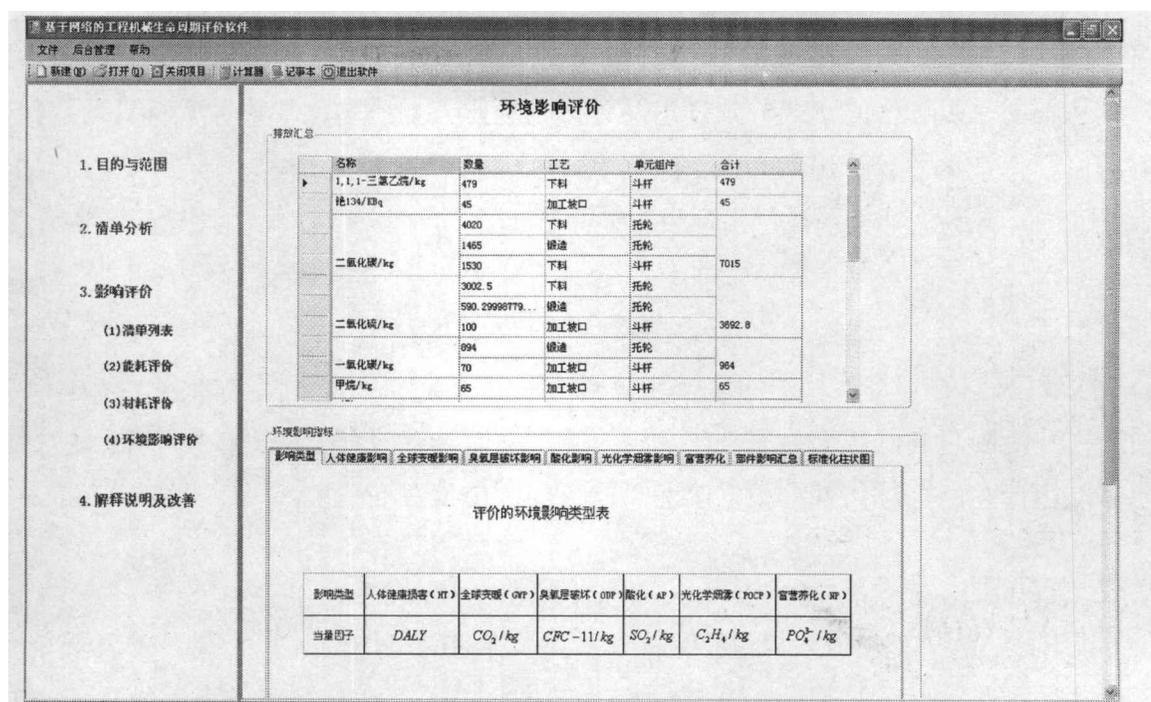


图 4-15 环境影响评价

Fig. 4-15 Environmental impact assessment

环境影响指标分为影响类型，人体健康影响，全球变暖影响，臭氧层破坏影响，酸化影响，光化学烟雾影响，富营养化影响，部件影响汇总和标准化柱状图九部分。

影响类型是以表格的形式列出人体健康损害 (HT)，全球变暖 (GWP)，臭氧层破坏 (ODP)，酸化 (AP)，光化学烟雾 (POCP)，富营养化 (NP) 这些环境影响的当量因子。

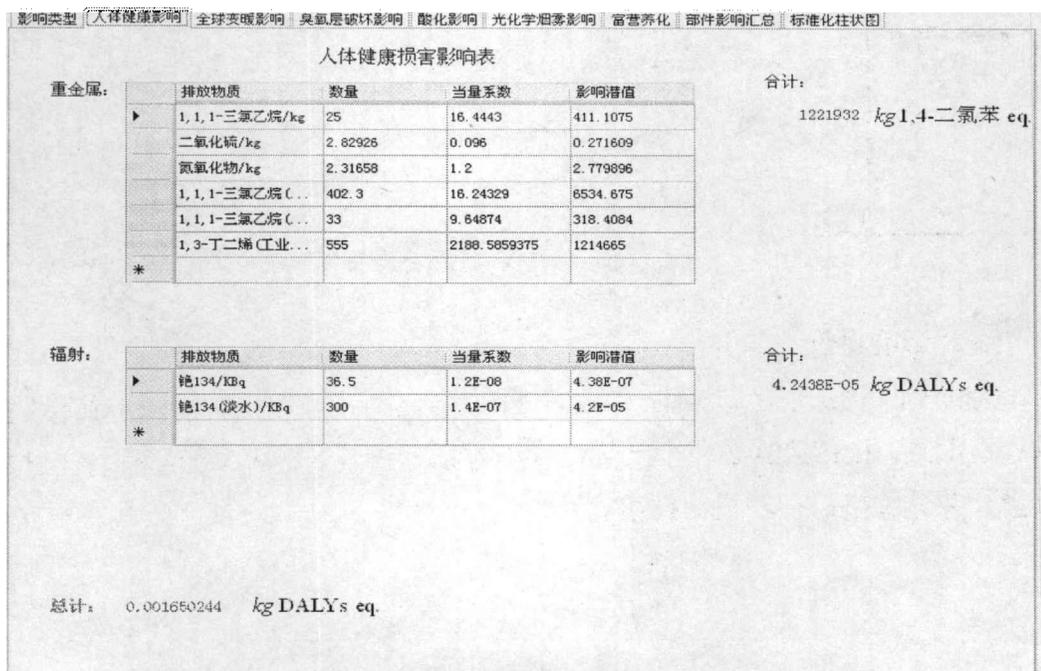


图 4-16 人体健康影响

Fig. 4-16 Human health effect

人体健康影响，全球变暖影响，臭氧层破坏影响，酸化影响，光化学烟雾影响，富营养化影响模块，分别计算出该工程对这些环境影响的影响潜值。当量系数等参数

可以在后台修改。其中人体健康影响页面，如图 4-16 所示。人体健康损害影响分为重金属和辐射，以表格的形式分别列出两种影响的排放物质名称、数量、当量系数和影响潜值，特征化后计算出对人体健康影响贡献的总和。

部件影响汇总是分别计算出项目中各个单元组件对各环境影响的影响潜值，从而找出各单元中对环境影响最严重的环节，进而寻求解决方法。从根本上节能降耗、降低环境影响。

标准化柱状图，将项目中的各个环境影响潜值标准化，然后画出柱状图，如图 4-17。帮助用户清晰直观的找出最严重的环境影响，进而寻求改善方法。本模型采用的标准化基准由荷兰的标准化基准根据工业总产值的比值推算而出。

$$ER(h)_{CH2008} = ER(h)_{NED1997} \times \frac{G_{CH2008}}{G_{NED1997}} \times w \quad (4-2)$$

其中， $ER(h)_{CH2008}$ 表示 2008 年中国环境影响标准化基准； $ER(h)_{NED1997}$ 表示 1997 年荷兰环境影响标准化基准； G_{CH2008} 表示 2008 年中国工业总产值； $G_{NED1997}$ 表示 1997 年荷兰工业总产值； w 表示权重系数，是 2008 年中国单位工业产值污染排放与 1997 年荷兰单位工业产值污染排放的比值。

标准化后的潜在影响为：

$$NEP(h) = \frac{EP(h)}{ER(h)_{CH2008}} \quad (4-3)$$

其中 $NEP(h)$ 表示标准化后的第 h 种环境影响的影响潜值； $EP(h)$ 表示第 h 种环境影响的影响潜值。

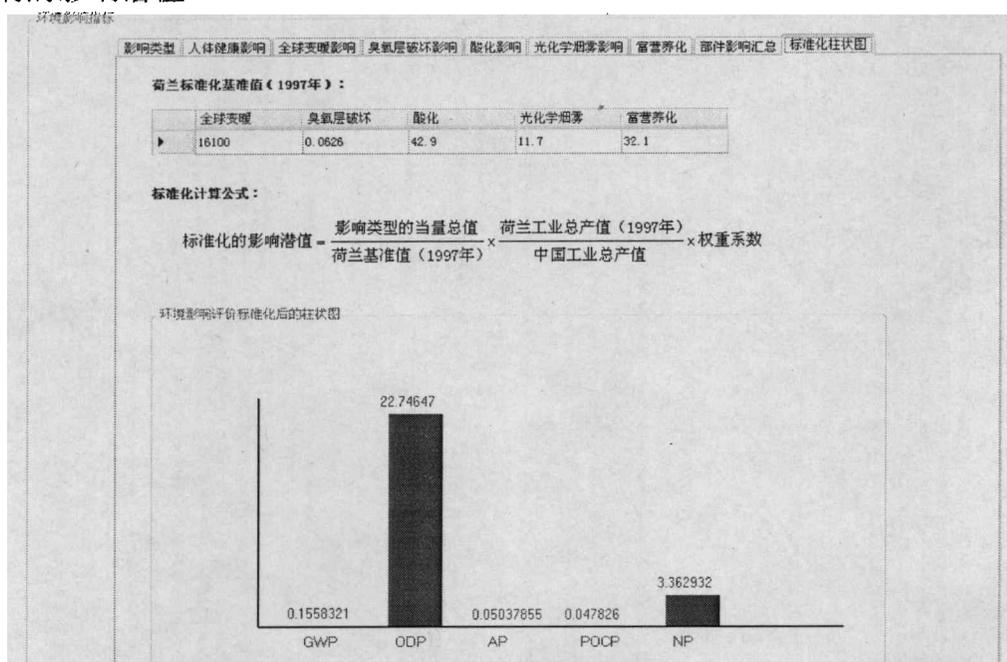


图 4-17 标准化柱状图

Fig. 4-17 Standardized histogram

标准化柱状图部分代码如下：

```
private void groupBox5_Paint(object sender, PaintEventArgs e)
{
    if (bIsRectRange)
```

```

    {
        CalRect();
        this.Draw(new int[] { (int)fShowGWP, (int)fShowODP, (int)fShowAP,
(int)fShowPOCP ,(int)fShowNP }, e.Graphics);
    }
}
private void Draw(int[] ws, System.Drawing.Graphics g)
{
    Pen pen = new Pen(Color.Black, 1); // 建立一个画笔对象
    Brush b = System.Drawing.Brushes.Blue; // 定义笔刷对象
    Rectangle[] rects = this.BuildRectangles(ws, g); // 画出图表
    g.DrawRectangles(pen, rects); // 填充颜色
    g.FillRectangles(b, rects); //设置边
    const int top = 85;
    const int left = 100;
    int height = 385;
    int width = 550;
    g.DrawLine(new Pen(Color.Black, 2), new Point(left, top), new Point(left,
height - top));
    g.DrawLine(new Pen(Color.Black, 2), new Point(left, height - top), new
Point(left + width, height - top));
}
//创建矩形数组(在创建矩形对象的时候, 同时写出每个图表的数值)
// ws, 数据数组
// g gdi+对象
private Rectangle[] BuildRectangles(int[] ws, Graphics g)
{
    Font f = new Font(FontFamily.GenericSansSerif, 10);
    int fx = 87; // 间距
    int y = 300; // y轴
    int x = 135; // 表格起始x轴
    Rectangle[] rects = new Rectangle[ws.Length];
    for (int i = 0; i < ws.Length; i++)
    {
        rects[i] = new Rectangle(new Point(x, y - ws[i]), new Size(50, ws[i]));
        switch (i) // 直接写标签
        {
            case 0:
                g.DrawString(fGWP.ToString(), f, Brushes.Blue, x-10, y - ws[i] - 20); //上
边数值
                g.DrawString("GWP", f, Brushes.Blue, x+5, y+6); //下边名称
                break;
            case 1:
                g.DrawString(fODP.ToString(), f, Brushes.Blue, x-10, y - ws[i] - 20);
                g.DrawString("ODP", f, Brushes.Blue, x + 5, y + 6);
                break;
            case 2:
                g.DrawString(fAP.ToString(), f, Brushes.Blue, x-10, y - ws[i] - 20);

```

```

g.DrawString("AP", f, Brushes.Blue, x + 5, y + 6);
    break;
    case 3:
g.DrawString(fPOCP.ToString(), f, Brushes.Blue, x-10, y - ws[i] - 20);
g.DrawString("POCP", f, Brushes.Blue, x + 5, y + 6);
    break;
    case 4:
g.DrawString(fNP.ToString(), f, Brushes.Blue, x-10, y - ws[i] - 20);
g.DrawString("NP", f, Brushes.Blue, x + 5, y + 6);
    break;
    }
    x += fx; }
return rects;
}

```

4.4.1.5 解释说明及改善

生命周期解释的目的是根据 LCA 前几个阶段的研究或清单分析的结果，以透明的方式来分析结果、形成结论、解释局限性、提出建议并报告生命周期解释的结果，是生命周期评价的最后一步。本软件提供给用户文本框以记录对项目的解释说明及改善方法。

4.4.2 后台数据管理模块的实现

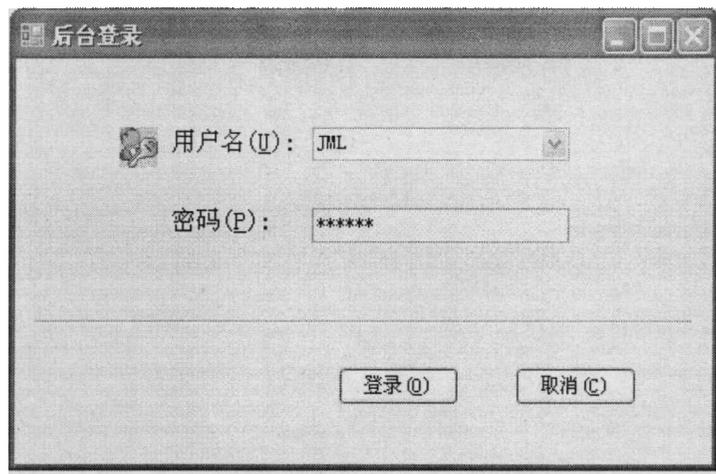


图 4-18 后台登陆界面

Fig. 4-18 Background landing interface

后台管理模块提供给软件管理人员使用，便于对生命周期评价中的相关数据进行录入，修正，删除等工作，保证数据的时效性和准确性。包括材料、能源管理，排放到大气中的物质管理，排放到水体中的物质管理，排放到土壤中的物质管理，查询添加，工程项目管理，清单分析数据库管理。

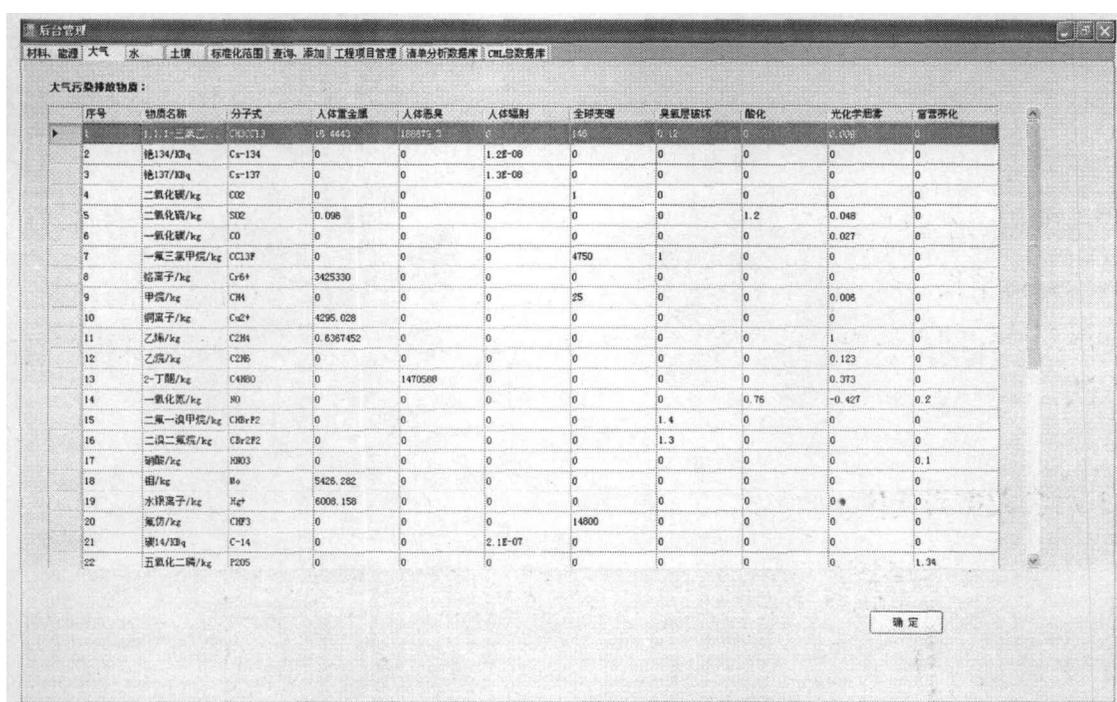
为了保证数据管理的安全性，本软件设置了用户登录模式进入后台，图 4-18。单击菜单“后台管理”的下拉菜单“登陆后台”，即弹出登录界面，在其中输入用户名

和正确的密码，即可进入后台。

4.4.2.1 材料、能源管理

对前台清单分析中供选择的材料、能源种类进行管理，可进行添加、修正、删除等工作。并对每种能源的标准煤折算数 (kg)，区域年消耗总量 (kg)，年产量，能源总产量进行管理。

4.4.2.2 排放到大气中的物质管理



序号	物质名称	分子式	人体重金属	人体恶臭	人体辐射	全球变暖	臭氧层破坏	酸化	光化学烟雾	富营养化
1	1,1,1-三氯乙	ClC1Cl2	0	128975.9	0	146	0.12	0	0.008	0
2	铯134/KBq	Cs-134	0	0	1.2E-08	0	0	0	0	0
3	铯137/KBq	Cs-137	0	0	1.3E-08	0	0	0	0	0
4	二氧化碳/kg	CO2	0	0	0	1	0	0	0	0
5	二氧化硫/kg	SO2	0.098	0	0	0	0	1.2	0.048	0
6	一氧化碳/kg	CO	0	0	0	0	0	0	0.027	0
7	一氟三氯甲烷/kg	CCL3F	0	0	0	4750	1	0	0	0
8	镉离子/kg	Cr6+	3425330	0	0	0	0	0	0	0
9	甲烷/kg	CH4	0	0	0	25	0	0	0.008	0
10	铜离子/kg	Cu2+	4295.028	0	0	0	0	0	0	0
11	乙烯/kg	C2H4	0.6387452	0	0	0	0	0	1	0
12	乙烷/kg	C2H6	0	0	0	0	0	0	0.123	0
13	2-丁酮/kg	C4H8O	0	1470568	0	0	0	0	0.373	0
14	一氧化氮/kg	NO	0	0	0	0	0	0.75	-0.427	0.2
15	二氟一溴甲烷/kg	CHBrF2	0	0	0	0	1.4	0	0	0
16	二溴二氟甲烷/kg	CBr2F2	0	0	0	0	1.3	0	0	0
17	硝酸/kg	HNO3	0	0	0	0	0	0	0	0.1
18	钼/kg	Mo	5425.282	0	0	0	0	0	0	0
19	汞离子/kg	Hg+	6008.158	0	0	0	0	0	0*	0
20	氟仿/kg	CFP3	0	0	0	14800	0	0	0	0
21	碳14/KBq	C-14	0	0	2.1E-07	0	0	0	0	0
22	五氧化二磷/kg	P2O5	0	0	0	0	0	0	0	1.34

图 4-19 排放到大气中的物质管理

Fig. 4-19 Management of material discharged to atmospheric

对前台清单分析中排放到大气中的物质下拉列表中的物质种类，包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响 (GWP) 当量因子、臭氧层破坏 (ODP) 当量因子、酸化影响 (AP) 当量因子、光化学烟雾 (POCP) 当量因子、富营养化 (NP) 当量因子进行管理，可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块，从物料数据库中查询出排放到大气中的物质的信息然后直接添加到排放到大气中的物质管理模块，排放到大气中的物质管理页面如图 4-19 所示。

4.4.2.3 排放到水体中的物质管理

对前台清单分析中排放到水体中的物质下拉列表中的物质种类进行管理，包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因

子、全球变暖影响（GWP）当量因子、臭氧层破坏（ODP）当量因子、酸化影响（AP）当量因子、光化学烟雾（POCP）当量因子、富营养化（NP）当量因子进行管理，可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块，从物料数据库中查询出排放到水体中的物质的信息然后直接添加到排放到水体中的物质模块。又分为对海水和淡水的排放。

4.4.2.4 排放到土壤中的物质管理

对前台清单分析中排放到土壤中的物质下拉列表中的物质种类，包括物质名称、化学分子式、对人体重金属当量因子、人体恶臭当量因子、人体辐射当量因子、全球变暖影响（GWP）当量因子、臭氧层破坏（ODP）当量因子、酸化影响（AP）当量因子、光化学烟雾（POCP）当量因子、富营养化（NP）当量因子进行管理，可进行添加、修正、删除等工作。也可以在查询添加模块，从物料数据库中查询出排放到土壤中的物质的信息然后直接添加到排放到土壤中的物质模块。又分为对工业土壤和农业土壤的排放。

4.4.2.5 查询添加

用户可以任意输入 Cas 代码，化学分子式，中文名称，英文名称中的一项和来源来查询某种物质，以获得该种物质对人体健康，全球变暖，臭氧层破坏，酸化，光化学烟雾，富营养化的当量系数。点击“添加”按钮，即可把该物质和对各种影响的当量系数添加到相应的数据后台中，方便前台进行各种影响潜值的计算。后台查询添加页面，如图 4-20 所示。

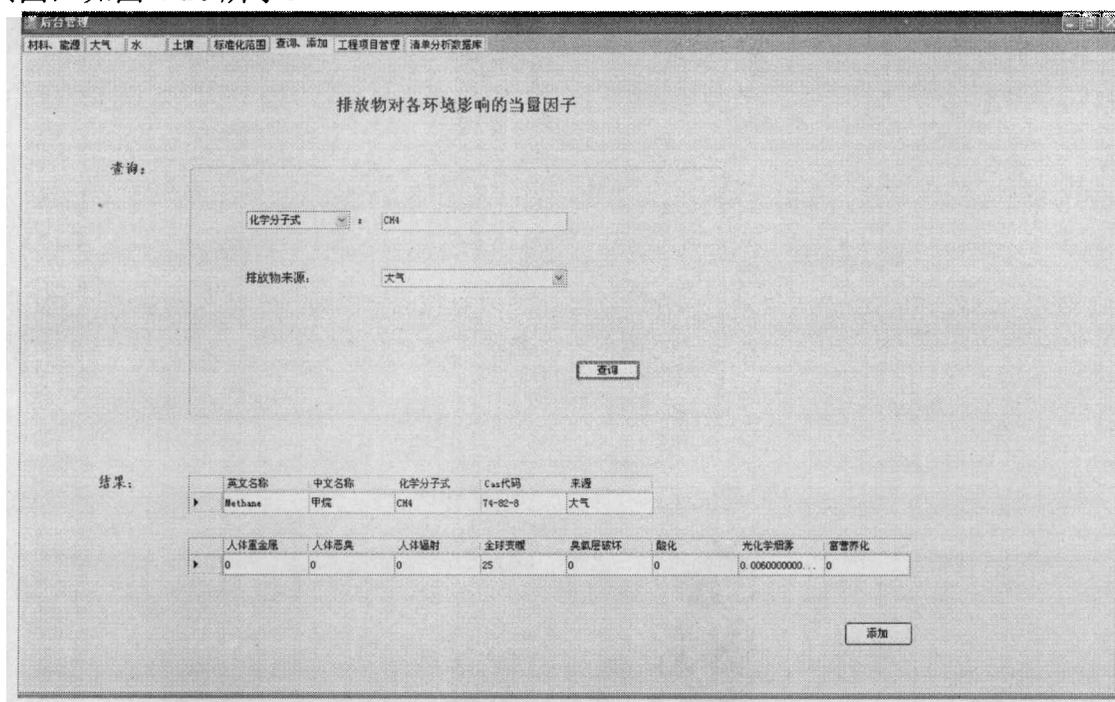


图 4-20 后台查询添加页面
Fig. 4-20 Query and adding page of background

4.4.2.6 工程项目管理

对工程项目的名称、密码、创建时间进行查看和管理。

4.4.2.7 清单分析数据库管理

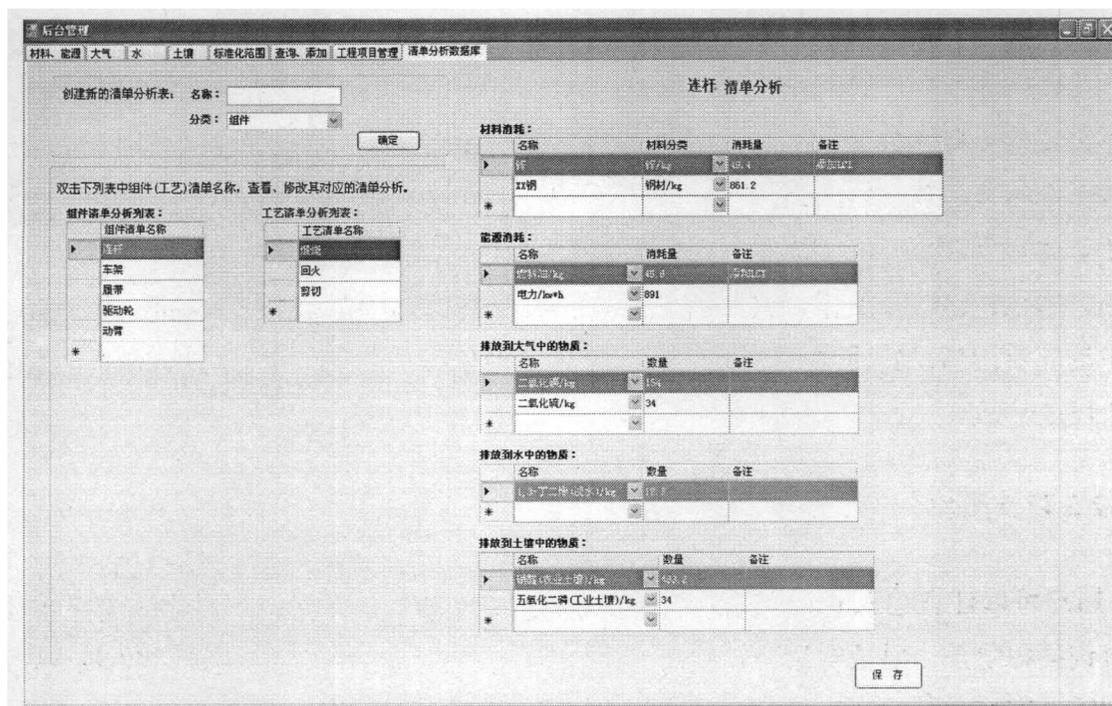


图 4-21 后台清单分析数据库管理页面
Fig. 4-21 LCI database management interface

图 4-23 为前台清单分析中直接为组件或工艺添加清单分析的后台管理，分为组件清单分析和工艺清单分析。可以在后台查看数据库中的清单分析，进行相应的添加、修改、删除，也可以创建新的清单分析表。

4.4.3 辅助功能模块的实现

辅助功能模块提供记事本，计算器，帮助等辅助功能，方便用户随时进行计算和记录。另外，本系统提供详尽而可靠的帮助文档，使用户在产生迷惑时可以自己寻求解决方法。

帮助设施的实现做到了以下几点：

- (1)进行系统交互时提供主要操作的帮助；
- (2)用户可以通过帮助菜单 F1 键和帮助按钮访问帮助；
- (3)用户如何回到正常交互方式有两种选择返回键和功能键；
- (4)帮助信息的构造采用分层式帮助。

4.5 本章小结

在基于网络的工程机械生命周期评价系统的实现过程中,首先介绍了评价系统的开发环境,其次进行了评价系统的需求分析,然后根据工程需求进行了评价系统的功能设计、界面设计、数据库设计和整体框架设计。最后介绍了评价系统前台操作模块、后台管理模块、辅助功能模块这三个主要功能模块的实现。

第五章 CMLCA 的实例应用

5.1 连杆概述

5.1.1 连杆的介绍

(1) 连杆是发动机的五大部件(缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴、连杆等)之一,它是发动机传递动力的主要运动件,在机体中做复杂的平面运动,连杆小头随活塞作上下往复运动;连杆大头随曲轴作高速回转运动;连杆杆身在大、小头孔运动的合成下作复杂的摆动。连杆在承受往复的惯性力之外,还要承受高压气体的压力,气体的压力和惯性力合成交变载荷,这就要求连杆具有耐疲劳、抗冲击,并具备足够的强度、刚度和较好的韧性^[75,76]。连杆的结构图如图 5-1 所示。

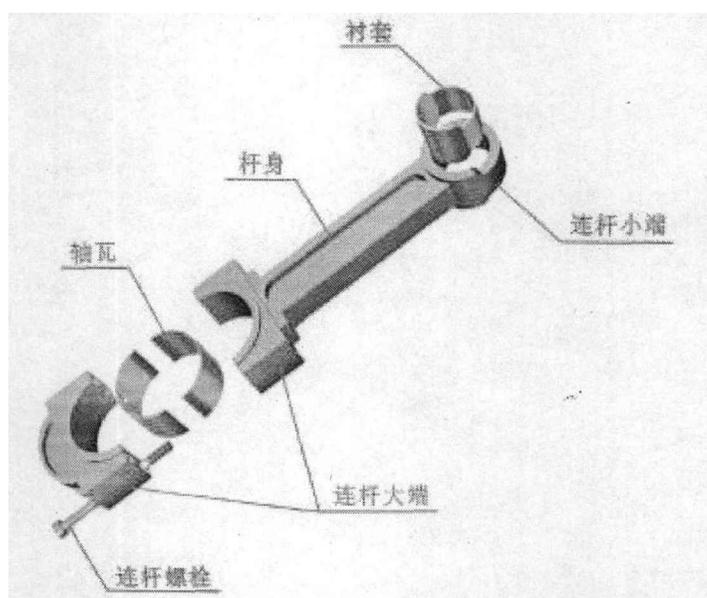


图 5-1 连杆的结构图

Fig. 5-1 Structure diagram of connecting rod

5.1.2 连杆的生产工艺

国内外典型的连杆生产方式有传统的铸造法、锻造法和粉末冶金等^[77]。随着发动机的发展,对于连杆的要求也越来越高,传统的铸造法渐渐被其他方法取代。粉末冶金法是新发展起来的一种生产连杆的工艺,如日本的丰田汽车公司、德国的 krebsoe 公司、美国的福特汽车公司等均采用了粉末冶金制造的发动机连杆^[78]。

目前,锻造法是制造连杆最主要的工艺,全球 87.4% 以上的连杆都采用模锻的工艺进行生产。为了满足需求量大的要求,实现连杆的大批量生产,大多数生产厂家在自动化锻造生产线上采用锤上热模锻法来生产连杆。

锤上热模锻法的主要制造工艺过程^[79]: (1) 采用感应加热等方法, 将钢坯加热到锻造温度; (2) 将此钢坯送入自动轧钢机进行初轧, 使其延伸成符合一定几何形状和尺寸的预制坯; (3) 将此预制坯送入锻压机的锻模中进行终锻, 以获得最终产品形状和尺寸精度。

连杆机械加工的传统工艺过程, 如表 5-1 所示。

表 5-1 连杆总成(含零件)机械加工工艺流程^[80]
Table 5-1 Machining process of connecting rod

序号	工艺名称
1	磨削两端面
LA	切断盖
2	钻、铰小头孔
3	小头孔倒角
4	拉小头孔
5	拉削大头各面
6	拉螺栓座面
7	磨削接合面
8	钻油孔
9	靠铣锁口槽
10	钳工
10.1	检验
11	打字码、配套管理
12	钻中心孔、粗铰、扩、精铰螺栓孔
13	钳工
13J	检验
14	清洗、编组管理
15	装配
16	粗铰大头孔
17	大头孔端面倒角
18	压铜套
19	精磨两端面
20	钳工
21	半精铰两孔
22	精铰两孔
22J	检验
23	钳工装配
24	磨大头孔
25	称重
25J	称重、检验
26	防腐、包装、下箱

以下是一种以模锻工艺和机械加工为基础的连杆制造方案。其主要工序^[78]: 下料→加热(约 1150℃)→多道制坯辊锻→切边→大、小头冲孔→热校正→冷精压→机械加工部分连杆体和盖。采用这种制造方案生产出来的连杆的基本数据如图 5-2 所示。

表 5-2 评价连杆的基本数据
Table 5-2 Basic data on evaluating connecting rod

产品重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	原材料重量(kg)	生产能耗(kWh)
0.621	7.8×10^3	1.294	8.45

5.2 目的和范围的确定

连杆生命周期评价的目的是在整个生命周期内进行评价、分析,掌握生命周期各个阶段对环境的影响潜值,以及各种环境影响类型的贡献值大小,从而帮助连杆生产厂家和设计人员更好地节能降耗减排。

根据 LCA 的定义,生命周期评价的范围应该包括工程机械连杆的原材料开采、能源消耗、运输、加工和使用等连杆生命周期的全过程。连杆生命周期评价主要分为原料的采掘、原料的生产、产品的生产、产品的使用和回收处置五个阶段,如图 5-2 所示。功能单位选用单个连杆。

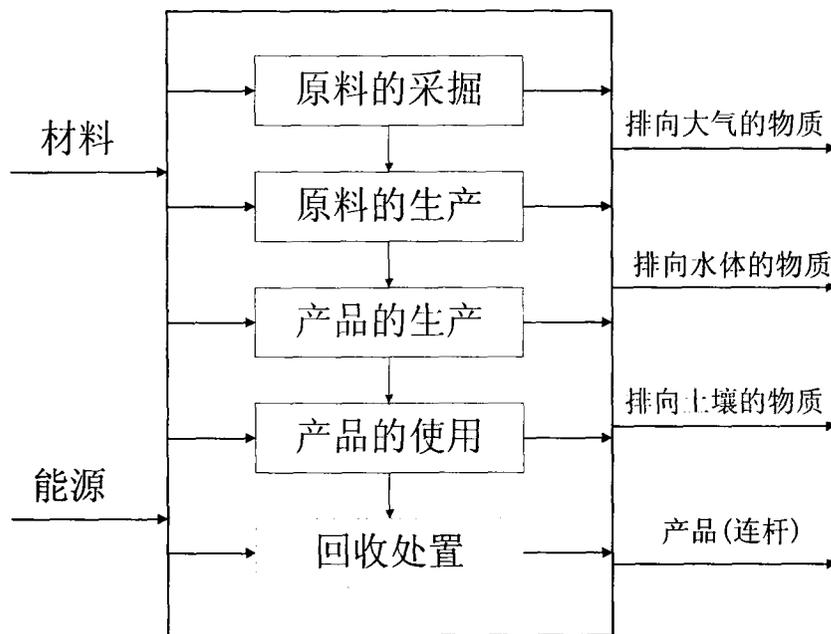


图 5-2 连杆生命周期评价各阶段

Fig. 5-2 Life cycle in the evaluation on connecting poles of engine

5.3 连杆各阶段的清单分析

连杆生命周期评价各阶段的清单分析,见表 5-3~表 5-6。

表 5-3 连杆原料采掘阶段的清单分析

Table 5-3 Inventory result of energy in the phase of exploiting resource

	物料		单位	数量
输入	能源	电力	kWh	1.55×10^{-2}
		原煤	kg	2.28×10^{-2}
		原油	kg	1.02×10^{-3}
输出	气体	CO	kg	4.11×10^{-5}
		NO _x	kg	5.92×10^{-4}
		CO ₂	kg	2.55×10^{-1}
		SO ₂	kg	1.61×10^{-3}
		CH ₄	kg	2.66×10^{-4}

表 5-4 连杆原料生产阶段的清单分析

Table 5-4 Inventory result in the phase of raw material production

	物料		单位	数量
输入	材料	钢材	kg	2.80×10^{-2}
		铁矿石	kg	1.59×10^1
		块矿石	kg	2.37×10^{-2}
		石灰石	kg	2.90×10^{-3}
	能源	电力	kWh	8.83×10^{-1}
		焦炉煤气	m ³	1.43×10^{-1}
		焦炭	kg	6.43×10^{-1}
		油田天然气	m ³	3.87×10^{-2}
输出	气体	CO	kg	3.66×10^{-2}
		NO _x	kg	1.79×10^{-3}
		CO ₂	kg	3.93×10^{-1}
		SO ₂	kg	3.18×10^{-3}
		CH ₄	kg	2.25×10^{-4}
		水体	COD	kg

表 5-5 连杆生产阶段的清单分析

Table 5-5 Inventory analysis of manufacturing stages

	物料		单位	数量
输入	材料	钢材	kg	1.294
	能源	电力	kWh	8.44×10^{-2}
输出	气体	CO	kg	2.17×10^{-4}
		NO _x	kg	3.29×10^{-3}
		CO ₂	kg	1.29
		SO ₂	kg	7.13×10^{-3}

表 5-6 连杆使用阶段的清单分析

Table 5-6 Inventory result in the phase of production

	物料		单位	数量
输入	能源	汽油	kg	3.29×10^3
输出	气体	NO _x	kg	1.19
		CO ₂	kg	1.49×10^2
		SO ₂	kg	2.99
		CH ₄	kg	2.87

注：表 5-3~表 5-6 中的数据来自文献[78]。

5.4 连杆 LCA 的影响评价

应用 CMLCA 系统对发动机连杆进行生命周期评价, 步骤包括: 建立项目、确定研究目的和范围、输入清单分析数据、计算并得到影响评价结果。影响评价结果包括清单列表, 能耗评价, 材耗评价和环境影响评价。

(1) 清单列表。应用 CMLCA 对连杆进行生命周期评价得到的清单列表, 图 5-3 是其中一部分清单列表。

清单列表

本项目所有组件各个工艺的清单分析列表。

其中: ■代表材料消耗 ■代表能源消耗 ■代表排放到大气中的物质 ■代表排放到水体中的物质 ■代表排放到土壤中的物质

序号	名称	分类	数量	工艺	单元组件	备注
1	电力/kw*h	能源消耗	0.0155	原材料采掘	原材料采掘	
2	原煤/kg	能源消耗	0.0228	原材料采掘	原材料采掘	
3	原油/kg	能源消耗	0.00102	原材料采掘	原材料采掘	
4	一氧化碳/kg	排放到大气中的物质	4.11E-05	原材料采掘	原材料采掘	
5	氮氧化物/kg	排放到大气中的物质	0.000592	原材料采掘	原材料采掘	
6	二氧化碳/kg	排放到大气中的物质	0.255	原材料采掘	原材料采掘	
7	二氧化硫/kg	排放到大气中的物质	0.00161	原材料采掘	原材料采掘	
8	甲烷/kg	排放到大气中的物质	0.000266	原材料采掘	原材料采掘	
9	废钢	材料消耗	0.028	原材料生产	原材料生产	
10	铁矿石	材料消耗	15.9	原材料生产	原材料生产	
11	块矿石	材料消耗	0.0237	原材料生产	原材料生产	
12	石灰石	材料消耗	0.0029	原材料生产	原材料生产	
13	电力/kw*h	能源消耗	0.883	原材料生产	原材料生产	
14	焦炉煤气/m3	能源消耗	0.143	原材料生产	原材料生产	
15	焦炭/kg	能源消耗	0.643	原材料生产	原材料生产	
16	油田天然气/m3	能源消耗	0.0387	原材料生产	原材料生产	
17	一氧化碳/kg	排放到大气中的物质	0.0366	原材料生产	原材料生产	
18	氮氧化物/kg	排放到大气中的物质	0.00179	原材料生产	原材料生产	
19	二氧化碳/kg	排放到大气中的物质	0.393	原材料生产	原材料生产	
20	二氧化硫/kg	排放到大气中的物质	0.00318	原材料生产	原材料生产	
21	甲烷/kg	排放到大气中的物质	2.25E-05	原材料生产	原材料生产	
22	CO2(淡水)/kg	排放到水体中的物质	0.00266	原材料生产	原材料生产	

图 5-3 连杆 LCA 的清单列表(部分)

Fig. 5-3 LCI list of connecting rod

(2) 材耗评价。应用 CMLCA 对连杆进行生命周期评价得到的材耗评价, 如图 5-4 所示。

材耗评价

资源种类	名称	数量	工艺	单元组件	消耗总量	
▶	钢材/kg	废钢	0.028	原材料生产	原材料生产	1.322
		钢材	1.294	连杆生产	连杆生产	
	铁矿石/kg	铁矿石	15.9	原材料生产	原材料生产	15.9
	石灰/kg	石灰石	0.0029	原材料生产	原材料生产	0.0029
	块矿石/kg	块矿石	0.0237	原材料生产	原材料生产	0.0237
*						

$$\text{钢材: 钢材耗竭数} = \frac{\text{消耗量}}{\text{区域总消耗量}} = \frac{1.322}{2.9E+07} = 4.558621E-08$$

图 5-4 连杆 LCA 的材耗评价

Fig. 5-4 Material Consumption Evaluation of connecting rod

(3) 能耗评价。应用 CMLCA 对连杆进行生命周期评价评价得到的能耗评价，如图 5-5 所示。

能耗评价

能源种类	数量	工艺	单元组件	标准煤折算系数	折标准煤总量 (kg)
▶ 原煤/kg	0.0228	原材料采掘	原材料采掘	0.7143	0.01628604
焦炭/kg	0.643	原材料生产	原材料生产	0.9714	0.6246102
原油/kg	0.00102	原材料采掘	原材料采掘	1.4286	4700.095
	3290	连杆使用	连杆使用		
油田天然气/m ³	0.0387	原材料生产	原材料生产	1.33	0.051471
焦炉煤气/m ³	0.143	原材料生产	原材料生产	0.5714	0.0817102
电力/kw*h	0.0155	原材料采掘	原材料采掘	0.1229	0.1207984
	0.883	原材料生产	原材料生产		
	0.0844	连杆生产	连杆生产		

能源消耗影响评价

$$EDP = \frac{\text{消耗总量}}{\text{区域年消耗总量}} \times \frac{\text{年产量}}{\text{能源总产量}} = \frac{\text{折标准煤总量 (kg)}}{\text{区域年消耗总量 (kg标准煤)}} \times \text{相对需求因子}$$

能源种类	消耗总量	折标准煤总量 (kg)	区域年消耗总量 (kg标准煤)	相对需求因子	耗竭贡献值 (EDP)
▶ 原煤/kg	0.0228	0.01628604	1681200000000	0.5738543	5.559014E-16
焦炭/kg	0.643	0.6246102	2759160000000	0.0955392	2.162787E-14
原油/kg	3290.001	4700.095	3224520000000	0.1100753	1.604469E-10
油田天然气/m ³	0.0387	0.051471	250000000000	0.008565572	1.763514E-15
焦炉煤气/m ³	0.143	0.0817102	260000000000	0.009090568	2.856893E-15
电力/kw*h	0.9829	0.1207984	601200000000	0.02052322	4.123706E-15

图 5-5 连杆 LCA 的能耗评价

Fig. 5-5 Energy Consumption Evaluation of connecting rod

(4) 环境影响评价。应用 CMLCA 对连杆进行生命周期评价评价得到的环境影响评价，各阶段对环境的影响汇总如图 5-6。其中整个生命周期过程中的排放，如图 5-7 所示。环境影响评价中的人体健康损害 (HT)，全球变暖 (GWP)，臭氧层破坏 (ODP)，

酸化 (AP), 光化学烟雾 (POCP), 富营养化 (NP) 的影响潜值标准化柱状图, 如图 5-8。

各部件对各种环境指标影响潜值的贡献如下:

	单元组件	工艺	全球变暖	臭氧层破坏	酸化	光化学烟雾	富营养化
▶	原材料采掘	原材料采掘	0.00665	0	0.001932	1.596E-06	7.696E-05
	原材料生产	原材料生产	0.0005625	0	0.003816	1.35E-07	0.0021976
	连杆生产	连杆生产	1.29	0	0.008556	0.00034224	0.0004277
	连杆使用	连杆使用	71.75	0	0.595	0.01722	0.1547
*							

图 5-6 LCA 各阶段对环境的影响汇总

Fig. 5-6 Environmental impact assessment of each stage

环境影响评价

排放汇总

名称	数量	工艺	单元组件	合计
二氧化碳/kg	0.255	原材料采掘	原材料采掘	150.938
	0.393	原材料生产	原材料生产	
	1.29	连杆生产	连杆生产	
	149	连杆使用	连杆使用	
二氧化硫/kg	0.00161	原材料采掘	原材料采掘	3.00192
	0.00318	原材料生产	原材料生产	
	0.00713	连杆生产	连杆生产	
	2.99	连杆使用	连杆使用	
一氧化碳/kg	4.11E-05	原材料采掘	原材料采掘	0.0368581
	0.0366	原材料生产	原材料生产	
	0.000217	连杆生产	连杆生产	
甲烷/kg	0.000266	原材料采掘	原材料采掘	2.870288
	2.25E-05	原材料生产	原材料生产	
	2.87	连杆使用	连杆使用	
氮氧化物/kg	0.000592	原材料采掘	原材料采掘	1.195672
	0.00179	原材料生产	原材料生产	
	0.00329	连杆生产	连杆生产	
	1.19	连杆使用	连杆使用	
COD(淡水)/kg	0.00268	原材料生产	原材料生产	0.00268

图 5-7 连杆 LCA 的排放汇总

Fig. 5-7 Emission gathering of connecting rod

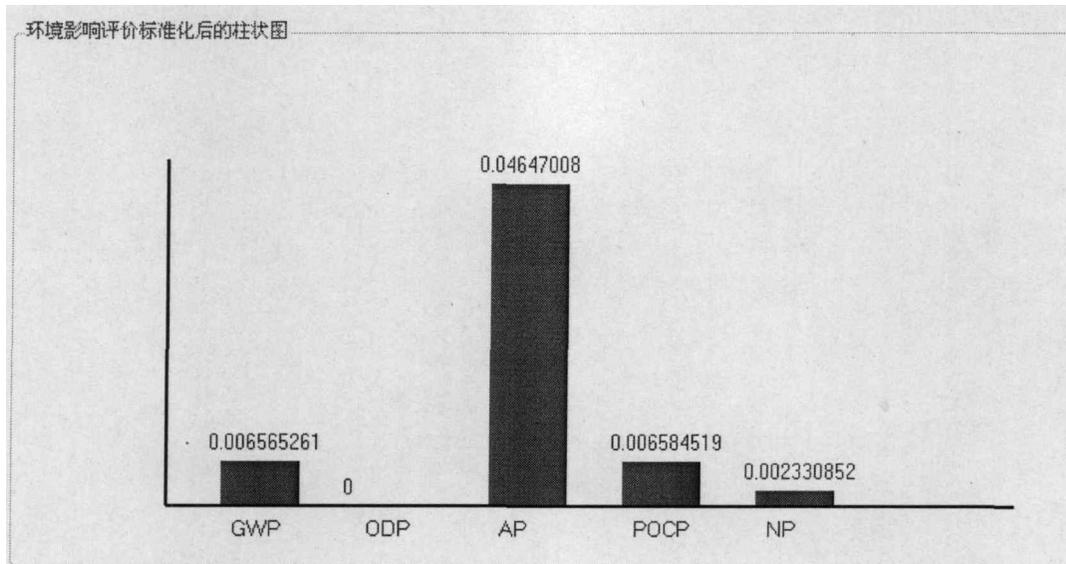


图 5-8 环境影响评价结果

Fig. 5-8 Environmental impact assessment result

5.5 连杆 LCA 的解释说明

由以上的分析可以看出,在各种能源中原油的消耗量是最大的,4700kg 标准煤,耗竭贡献值为 1.6×10^{-10} ;其次是焦炭,消耗量为 0.62kg 标准煤,耗竭贡献值为 2.16×10^{-14} ;第三位是电的消耗量为 0.12 kg 标准煤,耗竭贡献值为 4.12×10^{-15} ;第四位是焦炉煤气,其消耗量为 0.08 kg 标准煤,耗竭贡献值为 2.85×10^{-15} ;第五位是油田天然气,其消耗量为 0.05 kg 标准煤,耗竭贡献值为 1.76×10^{-15} ;原煤的消耗量为 0.016 kg 标准煤,居第六位,耗竭贡献值为 5.56×10^{-16} 。

各种环境影响类型的影响潜值也不同:酸化(AP)的影响潜值最大;其次是全球变暖(GWP)和光化学烟雾(POCP);富营养化(NP)次之。

连杆全生命周期的四个阶段中,使用阶段对环境影响最大;其次是连杆的生产阶段;原料的采掘阶段居第三;原材料的生产阶段对环境的影响最小。

第六章 总结与展望

6.1 总结

由于偏执于发展经济和创造物质财富，却忽视环境的保护，我们赖以生存的地球家园正在渐渐失去生机。作为制造业的重要行业，每年消耗大量的能源和材料，向地球排出大量的废物的工程机械产业，实现节能降耗减排，清洁生产意义非凡。生命周期评价(Life Cycle Assessment, 简称: LCA)作为一种国际公认的生态与环境管理工具,已成为国内外科研机构、组织和公司竞相研究的热点。本课题来自于国家“十一五”科技支撑计划子项目《面向工程机械的典型产品生命周期评价软件及其数据资源库开发》(2006BAF02A01-03),旨在针对工程机械进行生命周期评价理论研究,并开发相关软件系统。主要研究内容和成果如下:

(1) 研究现阶段已有的 LCA 理论和方法,特别对生命周期评价的技术框架进行了深入细致的研究。掌握国内外的研究机构、国际龙头企业对 LCA 的研究和应用情况,把握 LCA 研究的最新动态。总结 LCA 的分类和评价方法。将 LCA 与其他环境管理工具进行比较,归纳各自的优缺点。通过详细分析国内外比较有名的生命周期评价软件的开发和应用情况,总结各自的特点。

(2) 建立了适用于工程机械产业的生命周期评价指标体系。该体系充分考虑了产品的环境影响、材料消耗和能源消耗,具有较高的综合性。

(3) 结合工程机械的特点,提出工程机械生命周期评价(Life Cycle Assessment of Construction Machinery, CMLCA)模型。对目标确定的方法、评价范围、整合评价模型等问题进行了详细的论述。并就如何增强生命周期评价方法在 CMLCA 中的可操作性进行研究和论述。

(4) 用 Visual Studio2005 (C#) +SQL Server 技术,开发 CMLCA 软件系统。并从软件的需求分析、基本框架和数据库的详细设计、软件主要功能模块的实现这三方面进行详细的论述。实例应用表明,该系统能为工程机械的生命周期提供必要的技术支持,是一个针对性强、功能较强大的评价系统。

6.2 展望

现阶段,在我国工程机械的生命周期评价研究和应用还很少。作者虽然克服了 LCA 理论本身还存在不完善的地方,研究对象复杂,没有前人的经验可以借鉴等困难,在工程机械生命周期评价系统的研究及软件开发方面做了一些的工作,但是在某些方面仍然需要进一步的完善:

(1) 数据的继续收集和数据库的充实。清单分析需要大量标准化的数据,准确的

清单数据更是是环境影响评价的基础。但是目前国内企业普遍存在管理水平相对较低的问题，导致数据收集困难重重，即时在生产第一线也很难得到相关的数据。因此，收集工程机械全生命周期各个阶段的数据仍然是下一步工作的重点。

(2)随时关注国外 LCA 发展新动态，在国内建立统一、更加科学、合理、全面的工程机械产业的生命周期评价评判标准。

参考文献

- [1] 安心. 人类已耗三分之二世界资源[J].安全与健康, 2005,(11)
- [2] 百度百科全球气候变暖[OL],<http://baike.baidu.com/view/758611.htm>
- [3] 1987年世界资源报告披露环境污染使人类蒙受巨大经济损失[J]. 甘肃环境研究与监测, 1987,(04)
- [4] 2000-2001 世界资源报告[R]. 世界资源研究所,联合国环境规划署,联合国开发计划署,2002.4
- [5] 2009 年国民经济和社会发展统计公报[OL],
http://www.stats.gov.cn/tjgb/ndtjgb/qgndtjgb/t20100225_402622945.htm
- [6] 黄庐进.我国污染行业可持续发展之策略[J]
- [7] 百度百科工程机械[OL], <http://baike.baidu.com/view/259120.html?wtp=tt>
- [8] Hong C.Zhang,Tsai C.Kuo,and Huitian Lu.Environmentally Conscious Design and manufacturing:A State-of-Art Survey[J].Journal of Manufacturing Systems,Vol.16/5/1997.
- [9] 中国能源统计年鉴 2007[R].国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局编
- [10] Altung L.et al.The Life Cycle Concepts as a Basis for Sustainable Industrial Production. Annals of the CIRP,Vol.42/1/1993.
- [11] 机电产品绿色设计理论与方法[OL], http://www.newmaker.com/art_3179.html
- [12] 法国 NF 环境标志 (Norme Francaise Environnement Mark) [OL] ,
<http://www.cccn.org.cn/ArticleListone.asp?ID=888>
- [13] 北欧的生态标签—白天鹅[OL],
<http://www.wtosz.org/ecolabel/Files/Nordic%20Swan%20Label/intro/jianjie.pdf>
- [14] 中国环境标志[OL], http://baike.baidu.com/view/698314.htm?fr=ala0_1
- [15] 环境标志[OL], <http://baike.baidu.com/view/390245.htm>
- [16] 环境标志[OL],
<http://www.hudong.com/wiki/%E7%8E%AF%E5%A2%83%E6%A0%87%E5%BF%97>
- [17] Boustead Model 软件介绍[OL],
http://www.amadata.net.cn/sjgx_data/data_view.aspx?bsf=1050206060004&datatyp=pe=.html&sequence=1&showtype=open
- [18] SimaPro 7——The Powerful Life Cycle Solutio[OL],
<http://www.tech-box.com.cn/SimaPro%207.html>
- [19] Gabi 软件[OL],
http://www.amadata.net.cn/sjgx_data/data_view.aspx?bsf=1050206060002
- [20] LCAiT 软件介绍[OL],
http://www.amadata.net.cn/sjgx_data/data_view.aspx?bsf=1050206060005
- [21] 邓超, 夏添, 吴军. 产品生命周期评价原型系统设计和开发[J].计算机集成制造系统, 2005.11 (9): 1319-1326
- [22] 戴宏民, 戴佩华. 面向生态产品的 LCA 数据管理信息系统的研究与开发[J]. 生态经济,2008,5:36-38
- [23] 徐小明, 李成刚, 胡于进, 等. 生命周期评价工具软件系统的关键技术研究[J].设计与研究,2002,4:13-16
- [24] 刘洋, 陈郁, 张树深. 基于 VB 的生命周期评价网络数据管理系统设计与实现[J].中国环境管理, 2005,6:26-28
- [25] 邱彤, 谢华伟. FCV 氢源系统生命周期评价及其软件实现[J]. 计算机与应用化学, 2004. 21 (1): 16-18
- [26] 毛果平, 吴超.基于 Web 的复杂产品生命周期污染排放评价模型研究[J].制造业自动化, 2009.31 (2): 14-17
- [27] 吴信才, 邢延炎. 基于 Web 的生命周期评价信息系统设计与实现[J]. 科技进步与对策(增刊), 2003: 203-204
- [28] 向东, 汪劲松, 段广洪. 绿色产品生命周期分析工具开发研究[J].中国工程机械,

- 2002,13(20):1760-1765
- [29] EPA.Life-cycle Impact:A Conceptual Framework,Key Issues and Summart of Existing methods.EPA/452/R-95/002, 2003
- [30] 丁绍兰, 陈鹏. 生命周期评价新发展与工业应用[J].再生资源与循环经济, 2008,12: 36-38.
- [31] 谢明辉, 李丽, 黄泽春. 基于 LCA-模糊综合评价商品包装合理性评价方法研究[J]. 包装工程, 2009,30 (3): 18-21
- [32] 张培, 田长生, 黄志甲. 钢铁产品生命周期影响评价方法[J]. 安徽工业大学学报, 2007.24 (1): 84-88
- [33] Society of Environmental Toxicology and Chemistry. A Technical Framework for Life Cycle Assessment[R]. 1991
- [34] ISO 14040: 1997. Environmental Management — Life Cycle Assessment — Principles and Framework[S]
- [35] Robert G, William H. LCA—How it came about: Personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA[J]. International Journal of LCA, 1996, 1(1): 4-7
- [36] 向东, 段广洪, 汪劲松. 产品全生命周期分析中的数据处理方法[J]. 计算机集成制造系统—cIMs, 2002, 8(2):150—154
- [37] 王毅, 魏江, 徐庆瑞. 生命周期评价的应用、内涵与挑战[J]. 环境导报.1998, 5: 27~29
- [38] 孙启宏, 万年青, 范与华. 国外生命周期评价(LCA)研究综述[J]. 世界标准化与质量管理.2000, (12): 24~25, 31
- [39] 黄海耀. LCA 法比较太阳能热水器和燃煤锅炉系统的环境效益[D]. 天津: 天津大学, 2004
- [40] 叶茂. 生命周期矩阵在评价环境标志产品中的应用[J]. 江苏环境科学, 2000,13(1): 24-27
- [41] Society of Environmental Toxicology and Chemistry. A Technical Framework for Life Cycle Assessment[R]. 1993
- [42] ISO.International Organization of Standardization 14040 — environmental management-life cycle assessment-principles and framework[S].Geneva:International Organisation for Standardization;1999,14040
- [43] ISO.International Organization of Standardization 14041 — environmental management-life cycle assessment-principles and framework[S].Geneva:International Organisation for Standardization;1999,14041
- [44] ISO.International Organization of Standardization 14042 — environmental management-life cycle assessment-principles and framework[S].Geneva:International Organisation for Standardization;1999,14042
- [45] 肖骁, 黄可龙. 生命周期评价(LCA)与生态环境材料的开发. 材料导报. 2000, 14 (11): 23
- [46] Hertwich EG, Hammitt JK. A decision-analytic framework for impact assessment: Part 1. LCA and decision analysis[J]. Int LCA 2001 a; 6:5-12
- [47] Hertwich EG, Hammitt JK. A decision-analytic framework for impact assessment: Part 2. Midpoints, endpoints, and criteria for method development[J]. Int J LCA 2001b; 6:265-72
- [48] 刘江龙. 材料的环境影响评价[M]. 北京: 科学出版社, 2002:70-71
- [49] 李方义. 机电产品绿色设计若干关键技术的研究[D]. 北京: 清华大学, 2002
- [50] 警 惕 重 金 属 危 害 人 体 健 康 [OL], http://www.xhby.net/xhby/content/2005-08/29/content_916487.htm
- [51] 辐射对人体的危害[OL], <http://zhidao.baidu.com/question/10911189.html>
- [52] 全球变暖的危害[OL], <http://www.ahnu.edu.cn/kecheng/2004/15/dianzijiao%27an/di3zhang.htm>
- [53] 臭氧层[OL], <http://baike.baidu.com/view/72036.htm>
- [54] 臭氧层破坏与防治[OL], <http://zhidao.baidu.com/question/5777903.html>
- [55] 酸雨百度百科[OL], http://baike.baidu.com/view/2741.htm?fr=ala0_1_1
- [56] 酸雨的危害[OL], <http://zhidao.baidu.com/question/51193569.html>
- [57] 光化学烟雾[OL], <http://baike.baidu.com/view/169951.htm>
- [58] 光化学烟雾的危害[OL], <http://www.biox.cn/content/20050608/15455.htm>

- [59] 杨建新,徐成. 生命周期环境影响类型分类体系研究[J]. 上海环境科学, 1999,18(6):246-248
- [60] 富营养化[OL], <http://baike.baidu.com/view/87653.htm>
- [61] 杨建新,徐成. 产品生命周期评价方法及应用[C].北京:气象出版社, 2002
- [62] Karli Watson Christian Nagel.C#入门经典(第三版) [M]. 北京: 清华大学出版社,2006
- [63] C#百科名片[OL], <http://baike.baidu.com/view/6590.htm#5>
- [64] Visual Studio 2005 百度百科[OL], <http://baike.baidu.com/view/1087578.htm>
- [65] 微软 Visual Studio 2005 开发工具路线图详解 [OL], <http://www.pconline.com.cn/pcedu/empolder/gi/vc/0511/720853.html>
- [66] SQL Server 2005 Express[OL], <http://baike.baidu.com/view/3004857.htm>
- [67] sql server 2005[OL], <http://baike.baidu.com/view/765751.htm>
- [68] 刘彦荣. 基于 Web 的 LCA 数据管理信息系统的研究与开发[D]. 重庆: 重庆工商大学,2007
- [69] C / S 百度百科[OL], <http://baike.baidu.com/view/679010.html>
- [70] Human-Computer Interface[OL], <http://baike.baidu.com/view/192107.html?wtp=tt>
- [71] 任兴来. 基于用例的用户界面原型设计研究[D]. 青岛:青岛大学,2009
- [72] 李建国, 毛明志. 一种新的用户界面设计模式[J]. 现代计算机 (专业版), 2006,(12):71-74
- [73] 吴永春, 黄毓瑜. 软件界面设计技术探讨与实践[J]. 工程图学学报,2007,(6):58-61
- [74] 王晓霖, 帅健, 左尚志. 长输管道完整性数据管理及数据库的建立[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(11):45-47
- [75] 绍忠. 发动机连杆生产工艺的进展[J], 汽车科技, 2000, 154(1):7-11
- [76] 吕宁彩,方开安. 应用于连杆加工的过程质量控制分析[J], 2000,93(4): 29-35.
- [77] 杨慎华, 寇淑清, 谷诤巍等. 发动机连杆裂解加工新技术[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2000, 32 (3): 14-16
- [78] 刘华. 绿色产品评价理论和方法及其在粉末冶金中的应用[D], 上海: 华南理工大学, 2005.
- [79] 孙涛. 绿色制造工艺要素规划及其在连杆加工上的应用[D], 山东: 山东科技大学, 2006.
- [80] 李虹. 493Q 型柴油机连杆总成机械加工工艺闭[J]. 汽车工艺与材料, 2001, 10: 5-7.

致谢

值此论文完成之际，向所有一直以来关心、帮助我的老师、同学、家人、朋友表示最诚挚的感谢！

感谢导师楚纪正教授！三年来导师对我的学业倾注了很大的心血。整个硕士生的求学历程中，楚老师谆谆教导、诲人不倦，启发、鼓励我学术上创新；楚老师以他渊博的学识、敏锐的学科洞察力和独特有效的思维方式引导我攻克了许多难题，同时他严谨求实的治学态度、崇高的思想情操、平易近人的品格和为人师表的风范无时无刻不对我产生积极的影响。在此向辛勤培养和指导我的恩师致以最崇高的敬意和最衷心的感谢！

感谢机械科学研究院生产力促进中心的刘红旗所长和郭英玲博士在项目上予以的支持和帮助。

感谢一直陪伴我走到现在的信研 0702 班的所有同学和朋友们，感谢大家一直以来对我的关心与支持，感谢大家带给我的快乐，感谢那些在我感觉到人生低潮的时候，给予我精神鼓励和无私帮助的兄弟姐妹。我会一直怀念这个集体的，怀念每一位兄弟姐妹，怀念我曾经在这里度过的三年美好岁月！

感谢我的父母家人，感谢他们一直以来的无私奉献与默默支持！他们的付出是我勇往直前必不可少的动力！

最后，衷心感谢本文的评阅老师和答辩委员会的老师，感谢他们在百忙之中对论文的审阅和指点！

感谢所有给予我帮助的人们，谢谢！

研究成果及发表的学术论文

发表及已接受的论文

- 1、金美灵, 楚纪正. 工程机械生命周期评价系统的设计和开发[J]. *机电产品开发与
创新*. 2009, 22(6): 74-76。

成果及专利

基于网络的工程机械生命周期软件 V1.0。计算机软件著作权, 登字第 0151968。

作者和导师简介

一、作者简介

金美灵，北京化工大学信息科学与技术学院，研究生女，1983年8月10日出生，中共党员，吉林人
电话：
电子信箱：

教育经历：

2007年，北京化工大学工学学士学位

主要研究领域：

信息自动化应用

二、导师简介

楚纪正研究员，北京化工大学信息科学与技术学院
男，1962年2月28日出生，中共党员，河南南阳人，电话：64434930
电话：
电子信箱：

教育经历：

1979-1984: 华东石油学院炼制系 获得基本有机化工工学学士，
1986-1988: 石油大学(北京)化工系 直接攻读博士学位
1988-1992: 石油大学(北京)化工系 获得石油加工工学博士

工作经历：

1992.4 - 1994.7 浙江大学化工系，博士后
1994.8 - 1997.7 北京化工大学自动化系，副教授
1997.7 - 2001.3 北京化工大学自动化系，研究员
2001.3 - 2004.3 国立清华大学(台湾)化工系，客座专家
2004.3 - 现今 北京化工大学自动化系，研究员

主要研究领域:

过程建模与仿真、过程优化、先进控制

代表性论文:

1. 张鹏, 楚纪正, 2001. DCS 仿真平台操作员界面的设计. 北京化工大学学报, 28 卷, 3 期: 91-93.
2. 高雷, 楚纪正, 程远, 2001. 序贯模块法的面向对象程序设计. 计算机仿真, 18 卷, 3 期: 56-59.
3. 夏涛, 吴重光, 楚纪正, 2003. 通用 DCS 仿真环境的研究. 计算机仿真, 20 卷, 4 期: 48-50.
4. Chu, J.-Z., P.-F. Tsai, W.-Y. Tsai, S.-S. Jang, S.-S. Shieh, and P.-H. Lin: Multistep Model Predictive Control Based on Artificial Neural Networks. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2003, 42, 5215-5228.
5. Tsai, P.-F., J.-Z. Chu, S.-S. Jang and S.-S. Shieh: Developing a robust model predictive control architecture through regional knowledge analysis of artificial neural networks. *Journal of Process Control*, 13(2002) 423-435.
6. Chu, J.-Z., S.-S. Shieh, S.-S. Jang, C.-I Chien, H.-P. Wan and H.-H. Ko: Constrained optimization of combustion in a simulated coal-fired boiler using artificial neural network model and information analysis. *Fuel* 2003, 82: 693-703.
7. Lin, P.-H., D. S.-H. Wong, S.-S. Jang, S.-S. Shieh and J.-Z. Chu: Controller design and reduction of bullwhip for a model supply chain system using z-transform analysis. *Journal of Process Control*, 14(2004) 487-499.
8. Chu, JZ; Tsai, PF; Tsai, WY; Jang, SS; Wong, DSH; Shieh, SS; Lin, PH; Jiang, SJ: An experimental study of model predictive control based on artificial neural networks. KNOWLEDGE-BASED INTELLIGENT INFORMATION AND ENGINEERING SYSTEMS, PT 1, PROCEEDINGS 7th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES 2003) OXFORD, ENGLAND
9. Chu, J.-Z., S.-S. Jang and Y.-N. Chen: A Comparative Study of Combined Feedforward/Feedback Model Predictive Control for Nonlinear Systems. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 2004, 82(6): 1263-1272.
10. Shieh, S.-S., J.-Z. Chu and S.-S. Jang: An Interactive Sampling Strategy Based on Information Analysis and Ordinary Kriging for Locating Hot Spot Regions. *Mathematical Geology* 2005, 37(1): 29-48. 等等。

获奖成果及荣誉称号:

1. 以主要研究成员身份参加的项目“多元复杂体系高压相平衡及粘度的研究”获得国家教委 1993 年度颁发的科技进步奖(甲级二等, No. 92-18406).
2. 以项目负责人和主要开发者身份参加的项目“乌鲁木齐石化总厂 30 万吨/年合成氨装置计算机仿真培训系统的开发.”为乌鲁木齐石化总厂 1997 年度的重奖科技成果.
3. 以项目负责人和主要开发者身份参加的项目“锅炉仿真操作与评价系统”获黑龙江省科委 2001 年度科技进步三等奖.

北京化工大学

硕士研究生学位论文答辩委员会决议书

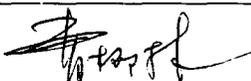
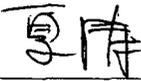
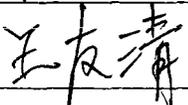
研究生姓名: 金美灵 专业: 控制科学与工程

论文题目: 工程机械生命周期评价研究及其软件的设计开发

指导教师姓名: 楚纪正 职称: 研究员

论文答辩日期: 2010-05-22 地点: 科技大厦 507

论文答辩委员会成员

姓名	职称	工作单位	本人签名
曹柳林	教授	北京化工大学	
王晶	副教授	北京化工大学	
夏涛	副教授	北京化工大学	
祝海江	副教授	北京化工大学	
王友清	教授	北京化工大学	

注: 此表用于存档, 除本人签名务必用钢笔填写外, 其余处必须用计算机打印。

答辩委员会对论文的评语（选题意义、文献综述、论文所取得的成果及水平、学风和论文写作水平、论文的不足之处）：

论文依托国家“十一五”科技支撑计划项目“面向工程机械的典型产品生命周期评价软件及其数据资源库开发，将生命周期评价(LCA)引入我国工程机械领域，建立评价模型并设计开发适用于我国的工程机械 LCA 软件系统。选题对于实现我国工程机械行业的节能减排具有一定的现实意义。

论文系统地综述了 LCA 发展的历史过程和前人的研究成果，并具体地取得了以下成果：

- (1) 建立了适用于我国工程机械产业的生命周期评价指标体系。该体系充分考虑了产品的环境影响、材料消耗和能源消耗，具有较高的综合性。
- (2) 提出了一个工程机械生命周期评价模型。对目标确定方法、评价范围、整合评价模型等问题进行了详细的论述。并就如何增强生命周期评价方法在 CMLCA 中的可操作性进行了研究和论述。
- (3) 用 Visual Studio2005 (C#) 及 SQL Server 技术，开发了 CMLCA 软件系统，并获得相应的软件著作权。

论文工作表明作者掌握了控制科学与工程领域中扎实的专业基础知识，具有独立分析与解决实际问题的能力。论文书写规范，叙述清楚、概念清晰、图表整齐，达到了工学硕士学位论文水平，是一篇优秀的硕士论文。答辩思路清楚，回答问题正确。

对学位论文水平的总体评价	优秀	良好	一般	较差
	√			

答辩委员会表决结果：

同意授予硕士学位 5 票，不同意授予硕士学位 0 票，弃权 0 票。根据投票结果，答辩委员会做出建议授予该同学硕士学位的决议。

答辩委员会主席签字：



2010 年 5 月 22 日