

学校编码: 10384

密级_____

学号: 33320131151759

廈門大學

硕士学位论文

基于物质流分析的厦门生态城市发展研究

Research on eco-city development by using material flow
analysis in Xiamen

曾小玲

指导教师姓名: 彭荔红 教授

郁 昂 助理教授

专业名称: 环境管理

论文提交日期: 2016年5月

论文答辩时间: 2016年5月

2016年5月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
主要符号对照表.....	VI
第一章 绪论.....	1
1.1 选题背景.....	1
1.2 研究目的及意义.....	2
1.2.1 研究目的.....	2
1.2.2 研究意义.....	2
1.3 研究内容.....	3
1.4 研究方法.....	3
1.5 研究框架.....	4
第二章 生态城市与物质流分析研究进展.....	5
2.1 生态城市综述.....	5
2.1.1 生态城市概念及内涵.....	5
2.1.2 生态城市的理论基础.....	6
2.1.3 生态城市遵循的原则.....	8
2.1.4 生态城市的研究进展.....	8
2.2 MFA 方法综述.....	10
2.2.1 MFA 概念内涵.....	10
2.2.2 MFA 理论基础.....	12
2.2.3 MFA 框架.....	13
2.2.4 MFA 主要步骤.....	13
2.2.5 MFA 研究进展.....	14
2.3 生态城市与 MFA 的关联性.....	15
2.3.1 生态城市与 MFA 的关系.....	15
2.3.2 MFA 在生态城市建设过程中的作用.....	16
2.3.3 生态城市 MFA 研究进展.....	17
第三章 厦门城市物质流分析框架与输入输出核算.....	20

3.1 厦门市概况	20
3.2 厦门城市 MFA 框架与指标	20
3.2.1 城市系统边界的界定	20
3.2.2 生态城市 MFA 框架构建	21
3.2.3 厦门城市 MFA 指标体系	23
3.3 厦门物质流数据分析与处理	24
3.3.1 数据来源	24
3.3.2 数据处理方法	25
3.4 厦门物质流核算	25
3.4.1 物质输入端核算	25
3.4.2 物质输出端核算	33
3.4.3 物质输入输出核算	38
第四章 厦门城市物质流代谢分析	40
4.1 物质流规模与结构分析	40
4.1.1 输入端物质流的规模和结构	40
4.1.2 输出端物质流的规模与结构	42
4.1.3 区域内物质消耗与平衡	45
4.2 物质代谢效率分析	46
4.2.1 物质生产力指标	46
4.2.2 环境效率指标	47
4.3 物质代谢消耗强度分析	48
4.4 物质流综合指数分析	49
4.5 厦门物质流指标校正	50
4.5.1 人口校正	51
4.5.2 物质消耗强度指标校正	51
4.6 本章小结	52
第五章 厦门生态城市发展综合研究	54
5.1 厦门生态城市的实践	54
5.1.1 厦门生态城市建设历程	54

5.1.2 厦门生态城市验收成果.....	55
5.2 厦门生态城市发展特色指标评价.....	57
5.2.1 厦门水生态文明综合评价.....	57
5.2.2 厦门大气生态文明综合评价.....	69
5.3 厦门生态城市发展的管理对策探讨.....	72
5.3.1 厦门水生态文明管理措施.....	72
5.3.2 厦门大气生态文明管理反思.....	78
5.3.3 不同生态城市发展特色对比.....	79
5.4 厦门城市发展对物质流的反馈.....	82
5.4.1 水生态文明可优化城市物质代谢.....	82
5.4.2 区域大气污染源解析.....	82
5.4.3 厦门自贸区发展影响物质流核算.....	84
第六章 研究结论与展望	88
6.1 研究结论.....	88
6.2 特色与创新.....	89
6.3 不足与展望.....	89
参考文献.....	91
附录.....	98
致谢.....	99

Table of Contents

Abstract(in Chinese)	I
Abstract(in English)	III
Main symbol table	VI
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background	1
1.2 Research Purpose and Significance	2
1.2.1 Purpose.....	2
1.2.2 Significance.....	2
1.3 Research Contents	3
1.4 Methods	3
1.5 Framework	4
Chapter 2 Research Progress on Eco-city and MFA	5
2.1 Review of Eco-city	5
2.1.1 Concept of Eco-city	5
2.1.2 Theoretical Basis of Eco-city	6
2.1.3 Basical Principles of Eco-city	8
2.1.4 Research Progress of Eco-city	8
2.2 Review of Material Flow Analysis	10
2.2.1 Concept of Material Flow Analysis	10
2.2.2 Theoretical Basis of Material Flow Analysis	12
2.2.3 Framework of Material Flow Analysis	13
2.2.4 Key Steps of MFA.....	13
2.2.5 Research Progress of MFA	14
2.3 Correlation between MFA and Eco-city	15
2.3.1 Relationship between Eco-city and MFA	15
2.3.2 Function of MFA in Eco-city	16
2.3.3 Research Progress of MFA in Eco-city	17
Chapter 3 MFA Framework for Xiamen and Calculation on Material Input and Output	20
3.1 Overview of Xiamen	20
3.2 MFA Framework and Index for Xiamen	20

3.2.1 Definition of the System Boundary of City	20
3.2.2 Construction of Eco-city MFA.....	21
3.2.3 Index System of MFA in Xiamen	23
3.3 Data Analysis and Processing on Material Flow in Xiamen.....	24
3.3.1 Data Sources	24
3.3.2 Data Processing Methods.....	25
3.4 Material Flow Accounting in Xiamen	25
3.4.1 Material Input Accounting	25
3.4.2 Material Output Accounting	33
3.4.3 Material Input and Output Accounting	38
Chapter 4 Metabolism Analysis of Material Flow in Xiamen.....	40
4.1 Scale and Structure Evaluation of Material Flow	40
4.1.1 Scale and Structure Evaluation of Input	40
4.1.2 Scale and Structure Evaluation of Output.....	42
4.1.3 Material Consumption and Balance.....	45
4.2 Material Metabolic efficiency Analysis	46
4.2.1 Material Productivity Index	46
4.2.2 Environment Efficiency Index	47
4.3 Consumption Intensity Analysis of Material Metabolic.....	48
4.4 Comprehensive Index of Material Flow	49
4.5 Correction on MFA Index	50
4.5.1 Revising Population Data	51
4.5.2 Revising Material Consumption Intensity Index	51
4.6 Chapter Summary	52
Chapter 5 Integrated Research on Eco-city development in Xiamen	54
5.1 Practice on Eco-city in Xiamen.....	54
5.1.1 Construction Progress of Eco-city in Xiamen	54
5.1.2 Achievements of Eco-city in Xiamen	55
5.2 Characteristic Indicators Evaluation of Xiamen Eco-city	57
5.2.1 Evaluation on Water Ecological Civilization.....	57
5.2.2 Evaluation on Air Ecological Civilization	69
5.3 Management Measures for Eco-city development in Xiamen	72
5.3.1 Management on Water Ecological Civilization	72

5.3.2 Characteristics and Innovation.....	78
5.3.3 Comparisons among Different Eco-cities.....	79
5.4 Feedback of MFA from development of Xiamen.....	82
5.4.1 Optimizing for MFA with Water Ecological Civilization and MFA in Xiamen.....	82
5.4.2 Analysis about Regional Air Pollution Source.....	82
5.4.3 MFA Accounting of Xiamen Free TradeZone.....	84
Chapter 6 Conclusions and Future Work.....	88
6.1 Conclusions.....	88
6.2 Characteristics and Innovation.....	89
6.3 Drawback and Future Work.....	89
References.....	91
Appendix.....	98
Acknowledgements.....	99

摘要

随着城市生活水平的提高,人们对城市理解也变得更深刻。面临城市发展过程中严峻的环境与社会问题,生态城市的发展理念也越来越深入人心。物质流起源于将自然资源使用同环境资源供应力、环境容量联系起来思考。物质流分析可以为城市可持续发展战略的制定提供量化的依据,因此,将生态城市与物质流分析相结合,研究城市在可持续发展的进程中系统内部物质流的变化,对生态城市建设乃至生态文明示范区建设具有现实意义。

本文运用城市物质流分析方法及其指标体系,量化研究了厦门在生态城市建设过程中的物质流情况,并从物质流规模和结构、物质消耗强度和物质代谢效率、综合指数、生态城市建设对比等多方面深入分析,旨在探索厦门生态城市建设中环境-经济系统物质流发展规律,为厦门生态城市的发展提供科学的依据。研究结果分析显示:

(1) 2011 至 2014 年厦门环境-经济系统的物质直接输入和输出均呈逐年增加的趋势;但区域内物质排放是逐年降低的。

直接物质输入从 2011 年的 4711.13 万吨增加到 2014 年的 8161.54 万吨,年均增长 20.05%。

直接物质输出从 2011 年的 4427.15 万吨增加到 2014 年的 5865.44 万吨,年均增长 9.83%。

2011-2014 年,厦门区域内物质排放规模从 22.85 万吨减少到 14.37 万吨。

(2) 厦门城市区域发展对外具有资源依赖性,尤其是化石燃料及金属矿物等对外存在严重的依赖性;厦门城市区域内隐藏流对物质流规模、结构等都有显著影响。

(3) 2011 至 2014 年厦门环境-经济系统的资源利用效率呈缓慢下降趋势;而环境效率上升趋势较为平缓。直接输入物质生产力从 2011 年 5382.58 元/吨下降到 2014 年 4010.98 元/吨;总输入物质生产力从 2011 年 2095.10 元/吨下降到 2014 年 1997.73 元/吨。直接物质输出效率从 2011 年 5727.84 元/吨下降到 2014 年 5581.13 元/吨;总输出物质输出效率从 2011 年 875.01 元/吨上升到 2014 年 883.10 元/吨。

(4) 物质输入输出消耗强度受厦门城市旅游人口变化的影响,经人口校正

后，其较校正前有所下降；2011-2014 年厦门环境-经济系统物质消耗强度均呈上升趋势。

人均直接输入物质消耗强度从 2011 年 11.51 吨/人增加到 2014 年 17.97 吨/人，净增长 6.46 吨/人；人均物质总输入消耗强度从 2011 年 29.57 吨/人增加到 2014 年 36.08 吨/人，净增长 6.51 吨/人。人均直接输出物质消耗强度从 2011 年 10.82 吨/人增加到 2014 年 12.92 吨/人，净增长 2.1 吨/人；人均总输出物质消耗强度从 2011 年 70.81 吨/人增加到 2014 年 81.63 吨/人，净增长 10.82 吨/人。

(5) 随着生态城市建设的不断推进，厦门经济发展对物质消耗的依赖程度呈逐渐下降的趋势。2012 和 2013 年，分离指数均小于零，为“复钩”状态；2014 年分离指数大于零，处于“脱钩”的状态。弹性系数的变化趋势与分离指数相同，同样经历了“复钩”到“脱钩”的阶段。

(6) 相比其他环境要素，厦门城市区域水环境承受的压力最大，尤其是化学需氧量对水环境影响最突出；鉴于厦门对水资源管理的重视，如海绵城市建设，预测在 2030 年可以建成水生态文明城市；在水生态文明建设过程中，将优化区域内物质流代谢，直接减少区域内水输入和输出。

(7) 厦门城市区域大气环境质量虽好，但仍需特别关注机动车辆氮氧化物及工业烟（粉）尘的影响，且港口船舶污染也是港口城市大气污染防治的重要环节；厦门城市区域大气污染物细颗粒物（PM_{2.5}）可能存在受外来源输入的影响。

(8) 厦门自贸区的建设必然促进城市经济发展，但同时也对城市环境-经济系统物质流变化产生一定影响；自贸区小区域内的物质流的输入输出在一定程度上将完善城市物质流分析框架。

关键词：厦门；生态城市；物质流分析

Abstract

With the improvement of living standards in cities, we think more about the profound meaning about the city. Absolutely, serious environmental and social problems exist in the process of urban development, and eco-city has been taking deep roots in the heart of people. Material flow is associated the natural resource and environmental resource supply with pollution capacity. Material flow analysis can provide quantitative basis for urban sustainable development. So combining eco-city and the material flow analysis is useful when we are exploring the variation tendency in the complicated urban environment-economy system, which means practical significance to build eco-city and eco-civilization demonstration area.

Based on material flow framework, this dissertation compute the material flow changes in Xiamen based on literature reviews, which is composed of material flow scale and structure, consumption intensity, metabolic efficiency, comprehensive index, comparing construction experiences in different eco-cities. It aims at evaluating the law of development to promote the development of Xiamen which is trying to create eco-city. The results show that:

(1) 2011 to 2014, the direct material input and the direct material output have observed increase; meanwhile the material discharge in the special region is reducing.

Direct material input increases to 81.62 million tons in 2014 from 47.11 million tons in 2011, generating growth of over 20.05% annually.

Direct material output increases to 58.65 million tons in 2014 from 44.27 million tons in 2011, generating growth of over 9.83% annually.

From 2011 to 2014, material release scale in Xiamen has decreased from 0.23 million tons to 0.15 million tons.

(2) The normal function of Xiamen mainly depends on importing resources form outside of this region. Especially, the fossil fuel and metallic mineral largely rely on importing; and the hidden flow plays an important role on material flow scale and structure.

(3) Resource utilization rate has been falling slowly, while the environmental efficiency appears a slight rising.

Material productivity of direct material input was 5382.58 yuan per ton in 2011, which has dropped to 4010.98 yuan per ton in 2014; material productivity of total

material input was 2095.10 yuan per ton in 2011, which has declined to 1997.73 yuan per ton in 2014. Environmental efficiency of direct material output descends to 5581.13 yuan per ton in 2014 from 5727.84 yuan per ton 2011, and environmental efficiency of total material output raise to 883.10 yuan per ton in 2014 from 875.01 yuan per ton in 2011.

(4) Material consumption intensity is affected by tourism population in Xiamen. It decreases apparently before and after population correction. Based on revising the data, the material consumption intensity is on rise from 2011 to 2014 in Xiamen.

Per material consumption intensity of direct material input in 2011 and 2014 was 11.51 and 17.79 tons per person, respectively, showing a net increase of 6.46 tons per person; per material consumption intensity of total material input was 29.57 and 36.08 tons per person, respectively, showing a net increase of 6.51 tons per person. Per material consumption intensity of direct material output in 2011 and 2014 was 10.82 and 12.92 tons per person, respectively, with a net increase of 2.1 tons per person; per material consumption intensity of total material output was 70.81 and 81.63 tons per person, respectively, with a net increase of 10.821 tons per person.

(5) With the development of eco-city, the degree of dependence between economy growth and material consumption decrease by years. In 2012 and 2013, decoupling factor is less than zero, which means pegging. It is more than zero, remaining decoupling. Meanwhile, elastic coefficient has gone through the same phrases with decoupling factor, which was from pegging to decoupling.

(6) It appears that water environment faces the most evident pressure overall. Chemical oxygen demand has the greatest impact in water environment. However, the government in Xiamen has emphasized the water resource management, such as sponge city projects. Xiamen will be a city with eco-civilization of water in 2030. In the process of water ecological civilization construction, the metabolism of material flow within the region will be optimized, which results directly in water input and output within the region reduced.

(7) Though the air quality in Xiamen is better than many cities, it needs to pay attention to nitrogen oxide emission of motor vehicle and industrial fumes. It is worth mentioning that air pollutants from ships is a key task to prevent air pollution in harbor city. $PM_{2.5}$ in atmosphere of Xiamen urban area may be affected by external source input.

(8) Xiamen Free Trade Zone accelerates urban economy development, but it

brings influences on material flow of urban environment economy system at the same time. Therefore, it is useful to confirm the change of material flow of Free Trade Zone.

Key words: Xiamen; Eco-city; Material flow analysis

厦门大学博硕士论文摘要库

主要符号对照表

CO ₂	二氧化碳 (Carbon Dioxide)
COD	化学需氧量 (Chemical Oxygen Demand)
DMI	直接物质输入 (Direct Material Input)
DMO	直接物质输出 (Direct Material Output)
DF	分离指数 (Decoupling Factor)
EC	弹性系数 (Elastic Coefficient)
EE	环境效率 (Environmental Efficiency)
GDP	地区生产总值 (Gross Domestic Product)
MCI	物质消耗强度 (Material Consumption Intensity)
MFA	物质流分析 (Material Flow Analysis)
MP	物质生产力 (Material Productivity)
NAS	物质库存净增量 (Net Addition to Stock)
NH ₃ -N	氨氮 (Ammonia Nitrogen)
NO ₂	二氧化氮 (Nitrogen Dioxide)
O ₂	氧气 (Oxygen)
P	人口 (People)
PM _{2.5}	细颗粒物 (Particulate Matter 2.5)
PM ₁₀	可吸入颗粒物 (Particulate Matter 10)
PTB	实物贸易平衡 (Physical Trade Balance)
RMC	区域内物质消耗 (Regional Material Consumption)
SO ₂	二氧化硫 (Sulfur Dioxide)
TMC	总物质消耗 (Total Material Consumption)
TMI	物质总输入 (Total Material Input)
TMO	物质总输出 (Total Material Output)
TRO	区域内物质输出 (Total Regional Output)
TMR	物质总需求 (Total Material Requirement)

第一章 绪论

1.1 选题背景

21 世纪的中国正在经历大规模的城镇化。根据《中国统计年鉴》人口篇的统计数据：1949 年，中国城市化率为 10.64%；1978 年，城市化率达到 17.9%。而改革开放后的 30 年里，中国城镇化加速。2010 年，中国城市化率达到 49.95%；2011 至 2014 年，中国城市化率超过了 50%，并持续增长；2014 年城市化率为 54.77%。但在城镇化过程中，城市特有的物质循环和能量流动对城市生态带来了一系列问题。一是，城市集约了人口、资源和环境，而支撑城市发展的生态环境条件越来越脆弱，如耕地、水资源等过度消耗，环境严重污染，尤其是雾霾的问题已不仅仅是一个城市的环境问题，更演变成区域性的环境问题。二是，多样化的“城市病”凸显，交通拥堵、土壤退化、垃圾包围城市、城市安全隐患突出等。因此，在严峻的约束和挑战面前，生态城市作为能有机融合自然、城市与人的发展模式越来越受到重视，生态城市开启实现城市有效利用环境资源并可持续发展的新跨越。

生态城市是物质流、能量流、信息流能够高效利用的结构合理、功能稳定的社会-经济-自然复合生态系统（李景源等，2012）。物质流分析（Material Flow Analysis, MFA）是通过建立相应指标，以物质的质量度量，对物质的输入和输出进行量化分析的方法。城市建设过程与物质输入和输出密不可分，生态城市的运转需以良性的物质代谢和能量流动为基础，因此，采用 MFA 方法可探索城市物质代谢与生态环境的关系，进而追溯城市生态问题的根源。

十七大报告将“建设生态文明”作为中国实现全面建设小康社会奋斗目标的新要求之一；十八大报告提出了“五位一体”，将生态文明建设与经济建设、政治建设、文化建设、社会建设并列；2013 年十八届三中全会提出了全面深化生态文明体制改革的要求，而中央城镇化工作会议将生态文明列为中国特色新型城镇化道路的重要内涵和特点。乔梓等（2015）认为建设生态城市是需要生态文明理念为前提，生态文明城市是生态城市良好、健康发展后取得的阶段性的成果。2014 年《国家新型城镇化规划（2014-2020）》颁布，该规划确定了城市化建设发展方向和目标，生态城市的实现是提高城市持续发展水平的必然选择。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.