

学校编码: 10384  
学号: 25320141151780

分类号 密级  
UDC

廈門大學

硕士学位论文

# 混凝土结构可持续性研究

Study on the Sustainability of Concrete Structure

王卫锋

指导教师姓名: 石建光教授

专业名称: 结构工程

论文提交日期: 2017年4月

论文答辩时间: 2017年 月

学位授予日期: 2017年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评阅人: \_\_\_\_\_

2017年 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): \_\_\_\_\_

2017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

## 摘要

伴随着人类社会与全球经济的日益发展，全球的资源、能源和环境问题日益突出，于是可持续发展越来越被人们所重视。建筑业作为全球资源消耗和能源消耗最高的支柱产业，在整个建筑行业走可持续发展建设之路，是实现全社会可持续发展的必然选择。混凝土结构作为目前应用最广泛的建筑结构主体，消耗大量的资源、能源，同时给自然环境带来沉重的负担。所以，对于结构工程师来讲，通过工程技术优化组合来实现混凝土结构的可持续性是目前所要思考研究的方向。本文的研究目的致力于在总结混凝土结构可持续性技术实现途径的基础上，通过各层次的技术优选和组合提高混凝土结构的可持续性，并建立起一个内容具体、针对性强、操作简单的混凝土结构可持续性评价体系。具体内容如下：

(1) 通过阅读文献，根据前人的研究成果，总结了各国建筑结构可持续性的内容及内涵，明确了混凝土结构可持续性的发展历史和研究现状。(第一章)

(2) 针对混凝土结构的材料、结构构件和结构体系特质，从混凝土结构的材料选择和使用，混凝土结构构件的布置和优化选择，混凝土结构体系的合理优化等方面出发，总结了混凝土结构的可持续性技术实现途径。(第二章)

(3) 混凝土结构可持续性评价是其对资源、能源和环境影响程度的综合量化评价过程。本文给出了混凝土可持续性评价体系及模型的构建原则，提出了基于全生命周期评价的生态指标法的混凝土结构可持续性量化评价方法。(第三章)

(4) 建立混凝土结构全生命周期可持续性量化分析模型，主要内容包括：确定混凝土结构全生命周期可持续性量化评价的目的和范围；对混凝土结构全生命周期内的各阶段的资源消耗、能源消耗和环境污染情况进行数据化清单分析；对混凝土结构全生命周期对资源、能源、环境等方面的可持续性影响进行量化计算分析并给出结果解释，分析内容包括混凝土结构全生命周期内对人类健康、生态系统及资源能源三方面可持续性的影响，对各阶段的清单分析结果进行特征化、标准化、最后进行加权计算，求得表征混凝土结构全生命周期可持续性的标准生态指数。(第四章)

(5) 案例分析结果表明，在混凝土结构主体全生命周期中，对资源和能源方面的可持续性影响较大，占全生命周期可持续性影响总量的 57.1%。在全生命周期各阶段中，原材料生产阶段对整个混凝土结构的可持续性影响最大，占全生命周期综合可持续影响

的 62.6%。通过对案例混凝土结构主体备选结构方案计算分析,结果表明在原材料生产阶段的不同种类可持续类型综合影响中,对比发现框架-支撑结构的标准生态指数比框架-剪力墙结构的降低了 22.2%,框架支撑结构更具有可持续性。这在一定程度上,为混凝土结构进行可持续性优化提供了新的思路。(第五章)

**关键词:** 混凝土结构; 可持续性; 全生命周期评价; 量化分析

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## Abstract

With the increasingly serious problem of global resources, energy and environment, people pay more and more attention to green, low-carbon and sustainable development. As the world's most resource consuming and energy consuming industry, construction industry is the inevitable choice of building a resource-saving and environment-friendly society. As the most widely used building structure, concrete structure consumes a lot of resources and energy, and at the same time, it brings heavy burden to the natural environment. Therefore, it is urgent for structural engineers to study the sustainability of concrete structures. The purpose of this paper is dedicated to basic way to realize the sustainable summary of concrete structure technology, establish a specific, concrete structure for sustainability evaluation system is strong, simple operation. Specific contents are as follows:

(1) Through reading the literature, according to the previous research results, the paper summarizes the content and connotation of the sustainable development of the building structure, and makes clear the history and current situation of the sustainable development of the concrete structure. (Chapter 1)

(2) According to the concrete structure of the material, structure and structure characteristics, from the choice of concrete materials and use, layout and optimization of concrete structure component, system of concrete structure optimize the starting up the continuous technical realization way of concrete structure. (Chapter 2)

(3) The sustainability of the concrete structure is the evaluation of resources and environmental impact comprehensive quantitative evaluation of the process, this paper gives the concrete construction principle of sustainability evaluation model, put forward the evaluation of concrete structure sustainability index method to quantify the ecological whole life cycle assessment method based on. (Chapter 3)

(4) establish the analysis model of concrete structure lifecycle sustainability quantification, the main contents include: determining the purpose and scope of the concrete structure of life cycle assessment; on the concrete structure in the life cycle energy consumption, pollutant emissions data inventory analysis; quantitative analysis on the concrete

structure of whole life cycle environmental impact analysis, including concrete structural damage to human health, ecological environment and energy resources in three aspects of sustainability. And through the standardization, standardization and weight, intuitive and easy to understand the standard ecological index. (Chapter 4)

(5) In the whole life cycle of concrete structure, it has a great impact on resources and energy, which accounts for 57.1% of the total impact of the whole life cycle. In all stages of the life cycle, the raw material production stage has the greatest impact on the sustainability of the whole structure, accounting for 62.6%. Through the case structure of the main alternative structure scheme, calculation in different types of quantitative sustainable raw materials production stage, comparison of braced frame standard ecological index structure than the frame shear wall structure is reduced by 22.2%, more sustainable. To a certain extent, it provides a new idea for the optimization of concrete structure. (Chapter 5)

**Key words:** Concrete structure; Sustainability; Life cycle assessment; Quantitative analysis

## 目 录

摘 要.....	I
目 录.....	V
<b>第 1 章 绪论.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 研究背景.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 可持续的起源与发展.....	2
1.1.2 工程领域的可持续概念.....	3
<b>1.2 混凝土结构可持续性.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 国内外混凝土结构可持续性研究现状.....</b>	<b>4</b>
1.3.1 国外混凝土结构可持续性研究现状.....	5
1.3.2 国内混凝土结构可持续性研究现状.....	7
<b>1.4 本文的主要工作.....</b>	<b>8</b>
1.4.1 研究的目的与意义.....	8
1.4.2 研究内容和创新点.....	9
<b>第 2 章 混凝土结构可持续性的技术实现途径.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 混凝土结构可持续性的内涵.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 混凝土结构可持续性材料技术实现途径.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 胶凝材料.....	11
2.2.3 拌合用水.....	16
2.2.4 矿物掺合料.....	16
2.2.5 混凝土化学外加剂.....	18
2.2.6 钢材.....	19
2.2.7 混凝土.....	19
<b>2.3 混凝土结构构件可持续性技术实现途径.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 梁.....	21
2.3.2 柱.....	23



2.3.3 板.....	24
2.3.4 剪力墙.....	26
2.3.5 支撑.....	26
<b>2.4 混凝土结构体系可持续性技术实现途径.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 混凝土结构可持续性其他技术实现途径.....</b>	<b>30</b>
2.5.1 混凝土建筑结构拆除后的处理和循环利用.....	30
<b>2.6 本章小结.....</b>	<b>31</b>
<b>第 3 章 混凝土结构可持续性评价方法.....</b>	<b>32</b>
3.1 混凝土可持续性评价模型的构建原则.....	32
3.2 常用的资源环境影响综合评价方法.....	33
3.3 基于全生命周期评价的生态指标法.....	35
3.3.1 混凝土结构可持续性评价方法的确定.....	35
3.3.2 基于全生命周期评价的生态指标法模型的构建.....	35
<b>3.4 本章小结.....</b>	<b>38</b>
<b>第 4 章 混凝土结构可持续性定量计算模型.....</b>	<b>39</b>
4.1 目的和范围的确定.....	39
4.2 混凝土结构可持续性清单分析.....	41
4.3 混凝土结构可持续性影响分析步骤.....	43
4.3.1 环境影响分类和特征化方法.....	43
4.3.2 标准化方法.....	46
4.3.3 权重计算.....	47
4.4 结果的分析.....	50
<b>4.5 本章小结.....</b>	<b>50</b>
<b>第 5 章 混凝土结构可持续性评价案例分析.....</b>	<b>51</b>
5.1 目的和范围的确定.....	51
5.1.1 工程概况.....	51
5.1.2 目的和范围的确定.....	53
5.2 3#仓库结构主体清单分析.....	54
5.2.1 原材料生产阶段.....	55

5.2.2 施工阶段 .....	55
5.2.3 运营维护阶段.....	57
5.2.4 建筑拆除及资源再利用阶段 .....	57
5.2.5 3#仓库结构主体全生命周期清单结果 .....	58
<b>5.3 混凝土结构全生命周期可持续性终点破坏模型的实例分析.....</b>	<b>59</b>
5.3.1 特征化.....	59
5.3.2 标准化.....	62
5.3.3 权重计算.....	65
5.3.4 环境影响量化结果分析 .....	69
5.3.5 3#仓库建筑备选结构方案可持续性对比分析.....	72
<b>5.4 本章小结.....</b>	<b>74</b>
<b>第 6 章 结论与展望 .....</b>	<b>75</b>
6.1 主要研究成果.....	75
6.2 展望 .....	76
<b>参考文献.....</b>	<b>77</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>81</b>
<b>攻读硕士期间发表的论文与参加的科研项目 .....</b>	<b>82</b>

## Contents

<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>Chapter 1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Research background .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 The origin and development of sustainability.....	2
1.1.2 Sustainability concepts in Engineering .....	3
<b>1.2 Sustainability of concrete structures .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Current status of research on the sustainability of concrete structures at home and abroad .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Current status of research on the sustainability of concrete structures abroad.....	5
1.3.2 Current status of research on the sustainability of concrete structures in China ..	7
<b>1.4 The main work of this paper .....</b>	<b>8</b>
1.4.1 The purpose and significance of the research .....	8
1.4.2 Research content and innovation .....	9
<b>Chapter 2 The way to realize the sustainability of concrete structure.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Connotation of concrete structure sustainability .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Concrete structure sustainable material technology realization way .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Cementitious material.....	11
2.2.3 Mixing water.....	16
2.2.4 Mineral admixture .....	16
2.2.5 Concrete chemical admixture .....	18
2.2.6 Steel.....	19
2.2.7 Concrete.....	19
<b>2.3 Ways to realize the sustainability of concrete structural components .....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Beam.....	21
2.3.2 Column .....	23
2.3.3 Board .....	24

2.3.4 Shear wall .....	26
2.3.5 Support .....	26
<b>2.4 The way to realize the sustainability of concrete structure .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 Other methods of concrete structure sustainability.....</b>	<b>30</b>
2.5.1 Treatment and recycling of 2.5.1 concrete structure after demolition .....	30
<b>2.6 Summary of this chapter .....</b>	<b>31</b>
<b>Chapter 3 The evaluation method of concrete structure sustainability .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Principles of constructing the evaluation model of concrete sustainability .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Commonly used resources and environmental impact assessment method.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Based on the life cycle assessment of ecological indicators method .....</b>	<b>35</b>
3.3.1 Selection of evaluation method for 3.3.1 concrete structure sustainability.....	35
3.3.2 Based on the life cycle assessment of the ecological indicators model construction .....	35
<b>3.4 Summary of this chapter .....</b>	<b>38</b>
<b>Chapter 4 The quantitative calculation model of concrete structure sustainability .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Purpose and scope determination .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Concrete structure sustainability inventory analysis.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3 Concrete structure sustainability impact analysis step .....</b>	<b>43</b>
4.3.1 Environmental impact classification and characterization methods .....	43
4.3.2 Standardization method .....	46
4.3.3 Weight calculation.....	47
<b>4.4 Analysis of results .....</b>	<b>50</b>
<b>4.5 Summary of this chapter .....</b>	<b>50</b>
<b>Chapter 5 The case analysis of the concrete structure sustainability evaluation .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1 Purpose and scope determination .....</b>	<b>51</b>
5.1.1 Engineering overview.....	51

5.1.2 Determination of purpose and scope .....	53
<b>5.2 3# warehouse structure list analysis .....</b>	<b>54</b>
5.2.1 Raw material production stage .....	55
5.2.2 Construction phase .....	55
5.2.3 Operation and maintenance phase.....	57
5.2.4 Building demolition and resource reuse phase .....	57
5.2.5 3# warehouse structure main body life cycle inventory results.....	58
<b>5.3 Example analysis of life cycle end failure model of concrete structure.....</b>	<b>59</b>
5.3.1 Characterization .....	59
5.3.2 Standardization.....	62
5.3.3 Weight calculation.....	65
5.3.4 Environmental impact quantitative analysis.....	69
5.3.5 Comparative analysis of sustainability of 3# warehouse construction alternatives .....	72
<b>5.4 Summary of this chapter .....</b>	<b>74</b>
<b>Chapter 6 Conclusion and prospect.....</b>	<b>75</b>
6.1 Conclusion.....	75
6.2 Prospect.....	76
<b>References .....</b>	<b>77</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>81</b>
<b>Research papers published during the study and participated in the research project .....</b>	<b>82</b>

## 第1章 绪论

### 1.1 研究背景

自从进入工业社会以来，工业革命促进人类的重大进步，我们的生活也发生巨大地变化。但工业发展同时也给我们带来了严重的环境问题，人类居住环境的日益被破坏，大气逐年的变暖，能源枯竭等问题。于是，可持续发展理念应运而生。可持续发展的理念是从生态学的概念衍生过来的，针对资源、能源与环境的开发利用现状，可以理解为在保证资源、环境基础完整性的条件下，保持资源、能源和环境的正常生产使用性，不至于因其耗竭而影响后代人正常的生产和生活。能源是发展的关键要素。在传统的经济发展中，能源一直为经济的持续增长提供着基本能量支持，伴随经济增长，对能源的需求量逐年增加。现代经济中，能源与经济发展之间的关系是多元的，一方面重要能源面临日益匮乏的问题，另一方面其作为污染源对环境造成了严重的影响，比如全球气候变化等<sup>[1]</sup>。良性开发和利用的资源和环境是人类赖以长期生存、经济稳健发展的坚实可靠的物质基础。改革开放进行了 30 多年，我国的经济持续高速增长，与此同时，对资源、能源等生产资料的需求急剧增加，资源、能源短缺问题愈演愈烈，进而引发了严重的环境问题。

根据估算，建设工程中消耗 30% 的原材料、30-40% 的能源和 25% 的水资源，在整个资源能源消耗中占据主导地位。建筑产业造成的环境污染量约占全部社会生产污染总量的三分之一，建筑废弃物总量占到人类生产实践产生固体废弃物总量的 40% 左右，所以土木建筑工程成为资源消耗和能源消耗的主要行业之一，同时也成为了环境污染的主要来源之一<sup>[2]</sup>。

2015 年建筑业总产值高达 180757.47 亿元，其中建筑工程产值为 160267.90 亿元，安装工程产值为 14991.79 亿元。2015 年全年建筑工程总产值占到建筑业总产值的 88.7%。由此可见，建筑工程在建筑业中占据主导地位。2011 年至 2015 年建筑业及分建筑业产值变化情况如表 1.1 和图 1.1 所示<sup>[3]</sup>。从表 1.1 和图 1.1 可以看出，2011 年到 2015 年间，建筑业总产值增长迅猛，虽然增长速度有所放缓，但由于建筑业总产值基数大，其增长量仍然较大，相对于其他行业，建筑业对资源、能源和环境的影响，仍然持续占据主导地位。因此研究建筑产业的可持续发展，对整个社会的良性可持续发展都具有重要作用。

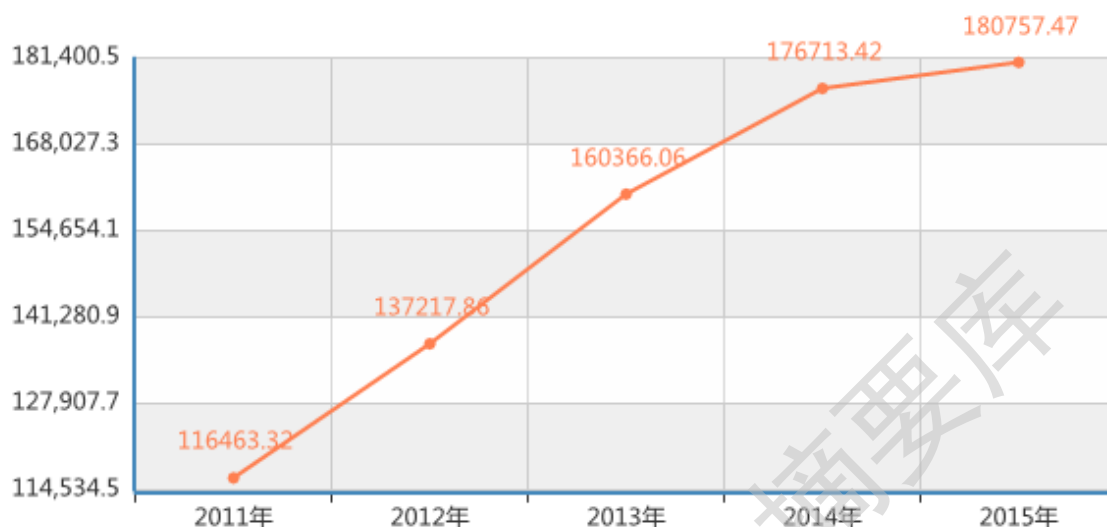


图 1.1: 2011 至 2015 全国建筑业总产值变化曲线 (亿元) [3]

表 1.1: 2011 至 2015 年建筑业及分建筑业 [3] 单位: 亿元

年份 指标	2015 年	2014 年	2013 年	2012 年	2011 年
建筑业总产值	180757.47	176713.42	160366.06	137217.86	116463.32
房屋工程建筑 建筑业总产值	115958.22	113880.09	102285.92	87133.84	71075.95
土木工程建筑 建筑业总产值	46263.23	44135.57	39739.96	34784.08	31214.22
建筑安装业建 筑业总产值	9850.52	9776.53	9044.81	8062.77	8149.05

### 1.1.1 可持续的起源与发展

经济的迅速发展带来的资源、能源和环境问题日益严重, 为达到人类与自然地和谐发展, 走可持续发展之路是当今人类发展的必然选择。可持续和可持续发展有多种定义。对一个群体来说是可持续的, 对另外一个群体可能不是可持续的。在全世界范围内被广泛认可的可持续发展定义是: 既满足当代人的需求, 又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展<sup>[4]</sup>。1987 年世界环境与发展委员会(World Commission on Environment and Development, WCED)提出了可持续发展的新定义: 既满足当代人的需求, 又不对子孙后代满足其需求的能力构成危害, 可出续发展包含三部分内容, 即经济发展、社会发展和环境保护<sup>[5]</sup>。这三部分相互依存且相辅相成。

在美国，在人们向实现可持续的理想和目标努力的过程中，一种被称作可持续建筑的可持续子集和它的组成部分绿色建筑正迅速发展。可持续建筑和绿色建筑对可持续提供了两个新视角，一个是更小的地域范围，如在发达世界的区域典型建筑或工程，另一个是更短的时间范围，或许仅涉及一栋建筑的生命周期。

可持续建筑可以是任何一种建筑，而绿色建筑则仅限于垂直建筑。可持续建筑是世界范围内关注的议题。不仅美国大力研究并发展可持续建筑，全球范围内在发展可持续政策和实践方面也已经做出了很大努力。在全球各个国家和地区，就不同的社会发展状态而言，针对可持续建筑的较好解决方案和具体实践可能是大不相同的。因此，各个国家或地区开发出来的绿色建筑或可持续建筑评估体系和使用技术也很可能彼此不同。节约能源在许多国家，尤其是冬天寒冷的国家，占据着比较重要的位置。

### 1.1.2 工程领域的可持续概念

随着改革开放的不断深入，中国经济快速崛起，作为支柱产业的建筑产业，迎来了发展的战略机遇期。但是，建筑业资源、能源消耗大和环境污染严重等问题日益突出，实际工程中建筑技术水平较低。所以，调整建筑业的发展方式，实现建筑业可持续发展是一个迫切需要解决的问题<sup>[6]</sup>。影响建筑业可持续发展的因素众多，本文基于建筑业可持续发展的内涵，主要从节约资源能源、环境保护和可持续建筑技术三个方面进行分析，试图通过钢筋混凝土结构设计中涉及各层次技术优势和选择机会，研究不同技术优势和选择机会与可持续发展整体效果的定量关系，提出符合钢筋混凝土结构特点的可持续性评价评估方法。

根据 2007 年 IPCC 报告，建筑产业领域是效益—成本最好的节能减排领域，为此，2013 年 1 月 1 日国务院发布了“绿色建筑行动方案”。近年来，建筑领域内可持续、低碳、绿色、节能、生态等设计理念获得广泛研究和发展的，建筑、材料、设备、新能源等众多领域新的科学和技术开始影响建筑设计<sup>[7]</sup>。欧洲各国通过科技协作（COST ACTION C25-WG3）进行建筑结构可持续研究，提出了基于多性能目标的结构可持续性设计<sup>[8]</sup>。

我国在 2004 年初开始实行科学技术攻关研究项目——“绿色建筑的结构体系与评价方法”研究提出了一套可持续性建筑结构评价体系<sup>[9]</sup>。这些评价和研究为开展建筑结构可持续设计研究有了科学依据。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库