

Environmental Impact Analysis and Sustainable Development Suggestions in Construction Industry of China

Guosong Yang^{1*#}, Chunle Ye²

¹Jiangsu Zhusen Architectural Design Co. Ltd., Changzhou Jiangsu

²Levy Service Center of People's Government of Tianmuhu Town, Liyang Jiangsu

Email: #yanggs2019@163.com

Received: Feb. 21st, 2020; accepted: Mar. 10th, 2020; published: Mar. 17th, 2020

Abstract

China has become a major construction country in the world. With the deepening of urbanization, we need to demolish a large number of old aging buildings and build a lot of new houses and supporting infrastructure every year. The dismantling of old buildings will generate a large amount of construction waste. Due to the low recycling rate of construction waste in China, the methods of processing construction waste are generally buried *in situ* or stacked in land, and the adverse effects of these two methods on the environment are self-evident. On the other hand, the construction of new buildings and other infrastructure consumes a lot of natural resources. The overexploitation of natural resources can easily induce ecological and natural disasters, and the production of steel, cement and other products required for constructions also requires a large amount of energy. The sustainable development of construction industry is an important part of our ecological civilization construction and sustainable development. This paper analyzes the impact of construction industry on the environment from several aspects, and solutions for promoting the sustainable development in construction market, such as the reuse of construction waste, the development of new environmentally-friendly building structures, and the improvement of building life cycle are proposed with a view to make sincere suggestions for achieving established development goals of China.

Keywords

Building Structures, Urbanization, Environment, Reuse, Sustainable Development

我国建筑业对环境的影响分析及可持续发展建议

*第一作者。

#通讯作者。

杨国松^{1*#}, 叶春乐²

¹江苏筑森建筑设计有限公司, 江苏 常州

²溧阳市天目湖镇人民政府征收服务中心, 江苏 溧阳

Email: #yanggs2019@163.com

收稿日期: 2020年2月21日; 录用日期: 2020年3月10日; 发布日期: 2020年3月17日

摘要

我国已经成为世界上的建筑大国, 随着城市化的深入推进, 我国每年仍需要拆除大量的旧有建筑同时新建大量的住宅以及配套基础设施。旧建筑的拆除会产生大量的建筑垃圾, 由于我国建筑垃圾回收利用率很低, 处理建筑垃圾的方法一般是就地掩埋或在空地堆放, 这两种处理方法对环境的不利影响是不言而喻的。另一方面, 新建筑和其他基础设施的建设又消耗大量的自然资源, 自然资源的过度开采容易诱发生态和自然灾害, 与此同时, 生产建筑所需的钢筋、水泥等产品则需要消耗大量的能源。我国建筑业的可持续发展是我国生态文明建设和可持续发展的重要组成部分。本文从几个方面分析了建筑业对环境的影响, 并在此基础上提出了建筑垃圾再利用、发展新型环保建筑结构以及提高建筑寿命等推动建筑可持续发展的解决方案, 以期为我国实现既定发展目标贡献绵薄之力。

关键词

建筑, 城市化, 环境, 再利用, 可持续发展

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑除了在满足人类生产和生活需要之外, 也是人类文明的重要标志和主要的文化载体。古埃及的金字塔, 欧洲的城堡以及保留至今的大量中国古代木结构建筑分别代表了各地区辉煌的文明史。工业革命后, 生产力得到了空前的发展, 以钢筋、混凝土为代表的新型建筑材料使得建筑业得到迅速发展, 西方资本主义在世界率先掀起了前所未有的城市化浪潮[1]。

由于帝国主义列强的入侵, 我国的城市化进程比西方资本主义世界晚了 100 多年, 但自改革开放以来, 已基本建立现代工业基础的中国开始了人类有史以来最为快速的经济增长, 而伴随着我国经济腾飞的则是高速的城市化进程。在短短的 40 年间, 我国城市化率就从 17.9% 增长至 59.6% 即年均提高 1%, 而人们的住房也完成了从土坯房到砖瓦房再到钢筋混凝土的转变。然而, 这种快速而近乎不加限制的发展也给我国建筑业今后的发展带来的巨大挑战, 其核心问题就是发展的不可持续性, 这种不可持续性主要包括两方面: 资源的不可持续和环境承载力的不可持续。钢筋混凝土在我国建筑材料中占据压倒性的市场份额, 而生产钢筋混凝土的原材料几乎全部是不可再生的[2], 持续性的大量开采必将过快消耗自然资源的储备, 从近几年河沙以及石子价格的快速上涨已经可以看出市场的供需矛盾已经开始显现。此外, 河沙和石子的开采在一定情况下还会引发生态和自然灾害。另一方面, 钢材的冶炼和加工则需要消耗大量的能源, 这对以煤炭为主要能源的中国来说, 无疑会给环境保护和生态建设带来很大压力, 虽然我国

2018 年的单位 GDP 碳排放量比 2005 年降低了 45.8%，但考虑到 2018 年和 2005 年我国的 GDP 分别为 92 万亿元和 18.7 万亿元，2018 年我国碳排放总量依然比 2005 年提高了大约 1.7 倍。目前我国的主要矛盾已经从根本上发生了改变，但在建筑领域，新旧矛盾依然并存，即发展的不平衡、不充分和相对落后的社会生产依然并存。

随着我国越来越重视生态文明建设、深入推进可持续发展战略，建筑行业在当前和以往的相对粗放式发展方式，特别是在原材料的生产以及建筑拆除后垃圾的处理这两个方面越来越与当前我国政府大力提倡的发展方式不相适应。因此，推动我国建筑行业的绿色可持续发展成为一个亟待解决的问题。通过学习了和国外的经验，探索出符合我国国情的可持续发展道路是建筑工程师应有之义。文章在分析建筑从原材料准备到拆除整个生命周期对自然环境影响的基础上提出了我国建筑可持续发展的必要性，并从建筑垃圾再利用、开发新型环保建筑材料、提高建筑寿命等方面提出了相应的建议和解决方案，希望能够推动我国建筑行业绿色环保化和可持续化发展。

2. 建筑业对环境的影响

沙、石子、黏土和钢材是制作钢筋混凝土的必需材料，石子和沙分别作为混凝土的粗骨料和细骨料，而黏土则是生产水泥和烧结实心砖的主要材料；粗钢的冶炼和精加工都需要消耗大量的能源。此外，形成这些建筑原材料的过程都需要经过长期的侵蚀或是地质运动，均属于不可再生材料。

2.1. 开采河沙

地表的沙主要分布在海洋、沙漠和河流中，其中海沙含盐量较高，对混凝土和钢筋具有腐蚀性，用海沙制造混凝土将严重影响建筑结构的使用寿命，而沙漠中的沙碱含量较高、粒径过细、表面过于光滑，故也不适合用于制造混凝土。大量研究和试验表明，因流水侵蚀形成的河沙最适合用于混凝土的制造[3]，近些年，机制砂也逐渐开始作为细骨料应用到混凝土的生产中，但目前也只限于特定用途的混凝土生产[4]。我国正处于基础建设快速发展期，每年需要开采大量的河沙才能满足需求。虽然机制砂在我国建筑用沙中已经占有一定比例，但是由于开采河沙具有明显的成本优势，因此，河沙依然在我国建筑用沙中占据主要地位。河沙的过度开采会破坏河床、影响河堤的稳定，更为严重的是，由于采砂的成本低收益高，我国依然存在大量的非法盗采河砂行为。经长期滥采河沙的河流一般会出现多种安全和生态问题：河床整体下切，在汛期有决堤的风险；河床上形成深坑，河流湍急处容易形成旋涡，对通航的河道具有安全隐患；破坏水生植物造成生态灾难[5]。显然，河流因采砂在较短的时间内就能造成相对严重的破坏，但是修复却需要长期持续的投入。

2.2. 开采石子

石子主要作为混凝土的粗骨料，部分用于机制砂。原石经破碎后形成粒径较小且具有一定棱角石子，原石主要来自于石质山体，切割山体特别是没有经过地质勘探就开采山体原石的认为行动容易引发地质灾害。山体经切割后，原有的结构遭到破坏，长期无序开采的山体缺乏足够稳定性，在暴雨或是地震的灾害的作用下会发生崩塌、滑坡的风险[6]。

2.3. 水泥和砖的生产

优质黏土是生产水泥和黏土砖的主要材料，黏土被大量应用到建筑材料生产中的直接后果是大量耕地被占用，我国人多地少的矛盾非常突出，耕地面积快速减少会严重影响我国的粮食自给。我国国土资源公报显示，“九五”和“十五”期间，即 1996~2005 年这十年间我国耕地总计减少了 1.58 亿亩。用于生产水泥和黏土砖的黏土大多产自优质土地，为保证粮食产量的稳定，从使用源头淘汰粘

土砖是一个非常有效的措施。此外, 烧结粘土砖是一个高耗能行业, 行业研究数据表明, 2013 年我国约生产 4500 亿块粘土砖, 消耗 6000 多万吨标准煤。因此, 减少或禁止粘土砖的使用是节约资源和保护环境的双重要求。

2.4. 钢材的生产

钢铁工业属于重工业, 是全国九大高耗能工业之一, 2018 年我国粗钢产量为 9.28 亿吨, 超过世界总产量的一半, 如图 1 所示, 其中有 4.30 亿吨作为建筑用钢。同年我国粗钢能耗为 558 kg/吨钢, 以此计算, 我国 2018 年建筑用钢共消耗 2.4 亿吨标准煤, 占当年煤炭产量的 6.5%。采煤主要有露天开采和井下开采两种方式, 若煤炭采用露天开采会对自然环境造成很大破坏, 若采用井下开采, 则容易引起矿区地表塌陷, 不仅致使地表土地难以开发利用, 还会破坏既有建筑。统计数据显示, 2007 年我国因采煤引起的塌陷区面积为 8000 平方公里, 2011 年底增至 1 万平方公里, 而到 2017 年进一步增至 2 万平方公里[7], 有加速扩大的趋势。

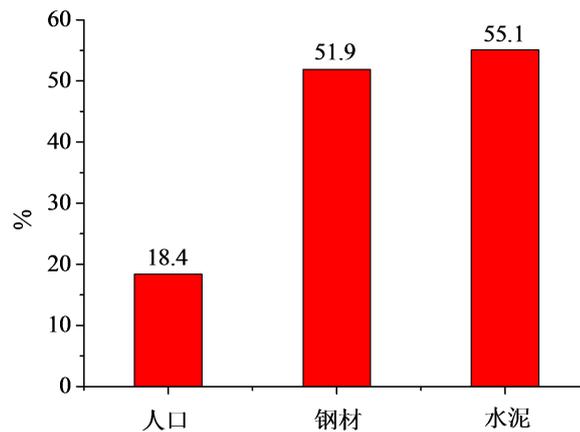


Figure 1. The population, steel and cement production of China accounted for the world's proportion in 2018
图 1. 2018 年我国人口、钢材和水泥产量占世界比重

2.5. 建筑垃圾对环境的影响

2017 年, 我国拆除的建筑总面积为 4.69 亿平方米, 共产生 19.3 亿吨建筑垃圾, 我国目前建筑垃圾再利用不足 10%, 处理建筑垃圾的方法主要有两种: 深挖掩埋和在地表集中堆放。农村地区因集中拆迁而产生的建筑垃圾一般就地深挖掩埋并在地面复垦, 这在一定程度上能够增加当地耕地面积, 但废弃混凝土会产生大量的硫化物从而直接污染土壤和水源; 而城市地区的建筑垃圾缺乏深挖掩埋的条件, 一般选择在空旷地区堆放, 与深挖掩埋相比, 这种处理方式不仅不会降低建筑垃圾对环境的污染而且会占用大量的土地、坑塘沟渠, 长期以往必将形成垃圾围城的局面、降低城市水体调蓄能力, 也必将严重影响居民的生活品质。此外, 建筑垃圾的堆积也会产生安全隐患, 2015 年 12 月 20 日, 深圳市光明新区的红坳渣土受纳场发生造成 73 人死亡的滑坡事故就是一个深刻的教训。

2018 年我国新开工建筑施工面积 20.9 亿平方米, 竣工面积达到 9.6 亿平方米。随着我国城市化进程的推进, 我国房地产行业依然处于增量市场, 未来我国每年开发住宅面积将会持续增长。我国建筑设计使用年限大多为 50 年, 而实际使用寿命大多低于该指标, 住建部的数据显示, 我国建筑拆除时的平均使用寿命为 30 年。这意味着未来我国每年因正常更替需要拆除的建筑面积有很大的增长潜力, 且大多集中在城市, 图 2 列举了 2012 年~2017 年我国建筑垃圾总量, 呈上升发展趋势。如果没有合适的处理方法, 建筑垃圾快速堆积将对我国生态文明建设和可持续发展带来巨大挑战。

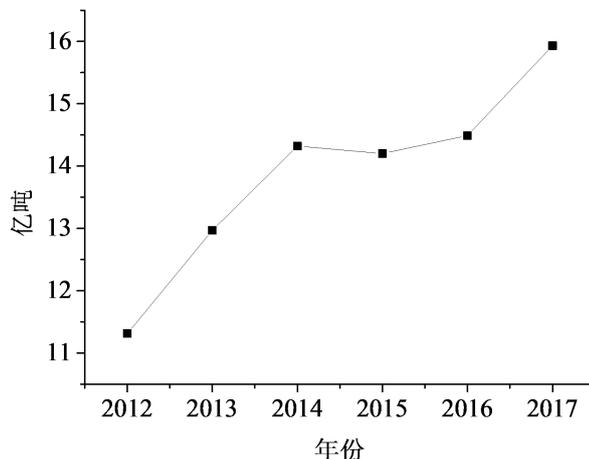


Figure 2. The construction waste of China from 2012 to 2017
图 2. 2012 年~2017 年我国建筑垃圾产量

3. 我国建筑业可持续发展解决方案

文章从我国经济技术基础、新型建筑结构发展现状、以及工业化国家的发展经验提出了几点解决方案。

3.1. 抑制房地产投机行为和过度投资

我国存在巨大的房地产泡沫这是业内的共识,住房本该是服务于人们的生产生活,却在 2008 年经济危机后极短时间内成为全国性的资本追逐利益的战场。这直接导致我国每年新开发了大量的建筑,在交付面积远超实际需求数倍的情况下量价却都能违背正常经济规律而持续高位运行。按当前我国城市化水平年均提高 1 个百分点计算,2018 年我国城市新增人口约 1400 万,当年我国人均住房面积为 39 平方米,由此计算得出当年需新增住宅面积 5.46 亿平方米,而根据国家统计局数据,2018 年我国住宅商品房销售面积超过 14 亿平方米,若考虑安置房面积则接近 20 亿平方米。由此可知大量住宅因投资性购买后而闲置,造成资源的浪费。西南财经大学的调查报告显示,2013 年我国城镇家庭住房空置率达到 22.4%,将近是高度老龄化、少子化日本的 2 倍。结合近几年房屋销售数据,该指标应有相当幅度的提升,而健康的房地产市场住房的空置率一般在 10% 以内。

我国商品房空置率已经远超合理水平,在 2011 年全国住房空置率就超过了 10% [8]。而最新的报告显示,2018 年我国办公楼平均空置率为 19.8%,部分二线城市则超过 35%,华中地区空置率接近 50%。住建委数据显示,2018 年我国一、二线城市商业综合体的平均空置率已经达到 9.4%,中小城市空置率更高,由于近年商业地产投资过热,计未来 5 年就有 20%~25% 的购物中心面临关闭。

我国房地产投机行为已经超出了合理范围并且形成了泡沫,投机行为引发的过度投资不仅造成了资源的浪费也占用了城市宝贵的土地资源。而这种发展模式既不符合市场经济规律也大大超出了我国社会和自然环境的承载力。抑制房地产因投机行为引起的过度投资与开发既是维护和发展我国的国民经济也是推动我国房地产健康持续发展的必要举措。

3.2. 建筑垃圾的再利用

我国建筑垃圾的利用率还不足 10%,而发达国家普遍达到 90% 左右,日本和韩国甚至超过 95%。日本从 1970~2000 年出台了一系列建筑垃圾再利用法案[9],到 2012 年,日本的建筑垃圾再利用率达到了 96%,其中混凝土更是达到了 99.3%,几乎达到 100%。我国建筑以钢筋混凝土为主要材料,拆除后产生大量的旧混凝土,和废钢。大量的研究表明,废旧的钢筋混凝土完全可以被再利用。将废钢从混凝

土中剥离后可以重融再生, 而废旧混凝土经粉碎后可以用来生产水泥[10], 若将石子分离可作为再生粗骨料用于新混凝土的生产(再生骨料混凝土)。研究表明, 再生骨料混凝土的强度与再生骨料的来源、再生骨料的取代率密切相关[11] [12], 但对配合比优化之后, 再生骨料混凝土的力学性能与新混凝土十分接近[13] [14] [15], 如图 3 所示。旧的混凝土中的水泥砂浆可以用来制砖[16], 也可以通过机制沙作为混凝土的细骨料。除废旧的混凝土外, 建筑拆除产生的木材可以加工为建筑模板, 其他金属、玻璃等材料基本可以回收作为原材料用于再生产。

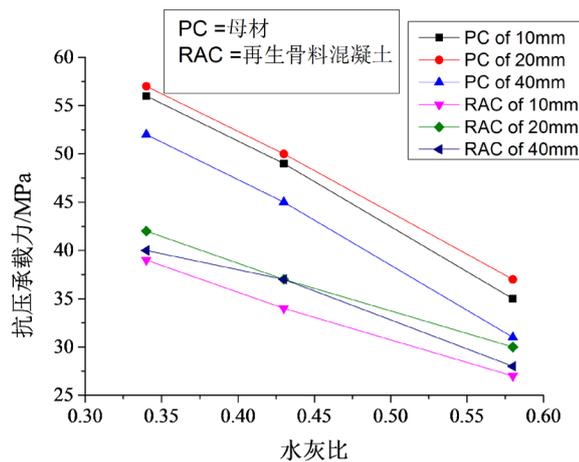


Figure 3. Comparison of compressive strength of recycled aggregate concrete and parent concrete
图 3. 不同粒径粗骨料再生骨料混凝土抗压强度与母材的对比

如果我国能将建筑垃圾的再利用率提高到 50%, 在减少城市周边垃圾堆积的同时, 能够大幅度减少自然资源和能源的消耗。

3.3. 开发绿色建材

3.3.1. 木结构建筑

目前, 从自然中获得可直接用作建筑材料的主要是木材, 木结构房屋在北美和日本等木材资源丰富的国家得到了广泛的发展和应, 但真正将木材力学性能发挥到极致是我国的古代劳动人民。故宫是世界上现存的规模最大的木结构建筑群, 建筑面积约 15 万平方米; 应县木塔我国现存最高最古老的纯木结构塔式建筑, 高达 67.31 米, 距今 900 多年, 至今保存完整。现代最高的木结构建筑是加拿大英属哥伦比亚大学(UBC)于 2017 建成的学生公寓, 共 18 层, 总高度为 53 米。当前我国发展木结构所面临的问题主要还是资源的短缺, 一是木材资源的匮乏, 我国已经全面禁止天然林的采伐, 优质的木材依赖进口; 二是土地资源稀缺, 特别是城市用地十分紧张, 发展高层和超高层住宅是满足大量城市人口居住的同时控制城市扩张的必然选择, 超高层木结构面临材料性能不足和设计难度大的现实问题, 而钢筋混凝土结构则不存在这两方面的问题。因此, 利用有限的资源和相对成熟的设计建造经验在我国土地资源相对丰富的地区用木结构代替部分钢筋混凝土结构更具现实意义。

3.3.2. 现代竹结构

现代竹结构是近十几年才进入人们的视野, 因其顺纹方向的高承载力被认为是替代木材的最佳选择。我国木材资源相对匮乏, 却有丰富的竹林资源, 我国竹类植物共 857 种, 竹林面积 538.10 万公顷, 其中适合作为结构用材的毛竹林面积 386.83 万公顷[17]。竹材又是一种多年生草本植物, 一般 3~5 年即可成材, 可以说我国发展竹结构具有得天独厚的资源优势。胶合竹材是发展现代竹结构的基础, 如

图 4 所示, 利用热压胶合工艺, 将竹坯逐层叠合形成胶合竹板材或块材, 最后根据需要冷压成一定截面尺寸的胶合竹构件。胶合竹材克服了天然竹材中空薄壁的构造缺陷, 使其能够像木材一样应用到结构设计中[18]。现代竹结构体系是基于现代力学、材料学、结构设计及实验学等理论, 通过开发新型竹结构材料, 建立工业化生产方法、利用现代结构设计、施工方法以及维护技术将竹材构件拼接安装而成的一种新型结构体系[16]。

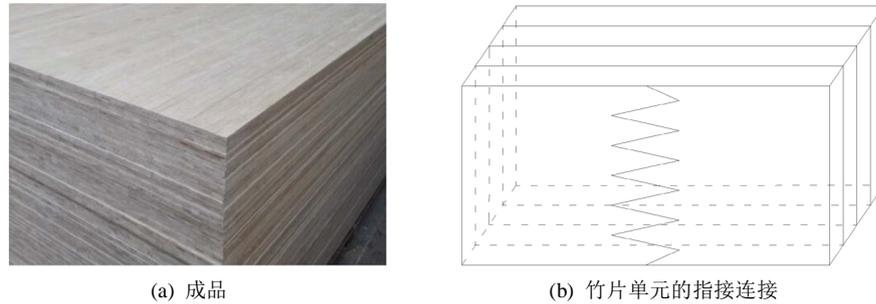


Figure 4. Comparison of compressed strength of recycled aggregate concrete and parent concrete
图 4. 不同粒径粗骨料再生骨料混凝土抗压强度与母材的对比

材性试验表明, 胶合竹完好地继承了天然竹材顺纹方向高强的力学性能[19] [20] [21], 如表 1 所示。另一方面, 我国在竹结构体系的研究进展处于国际领先水平, 已进入设计建造阶段[22] [23] [24]。然而, 相对于木结构而言, 目前尚无竹结构设计规范, 这是竹结构在民用市场推广应用的一大障碍。作为一种绿色建筑材料, 竹结构必将在未来的建筑市场占有一席之地。

Table 1. Comparison of mechanical properties of glued laminated bamboo, engineered wood and steel
表 1. 胶合竹、工程木和钢材的力学性能比较

材料	抗压/MPa	抗拉/MPa	抗剪/MPa	抗弯/MPa	弹性模量/GPa
重组竹	129	248	-	250~300	35
层压胶合竹	73	85	17	115	15
Glubam	51	83	16	99	9.4
冷杉	57	49	11	68	13
钢材	250~400	250~400	-	235~400	190~210

备注: 重组竹、层压胶合竹和 Glubam 是三种不同生产工艺的胶合竹; 表中胶合竹和工程木的力学性能皆为沿材料的顺纹方向。

3.4. 提高建筑使用寿命

我国《民用建筑设计通则》规定, 一般性建筑的耐久年限为 50~100 年, 但我国建筑拆除时的平均寿命仅为 30 年, 远低于设计寿命。与之相对应的是, 西方国家的建筑的平均寿命普遍高于中国, 其中英国为 132 年, 美国为 74 年[25], 这意味着我国建筑更新速度是发达国家的 2~4 倍。因此, 提高建筑的使用寿命能够显著减少因建筑更新而产生的建筑垃圾同时降低对自然资源的需求。

影响建筑寿命的因素很多, 设计指标、施工质量、装修、维护水平等都会对结构的耐久性产生一定的影响。我国地产企业大都处于高负债运营状态, 为了降低建筑整体开发成本, 快速回笼资金, 出现了一批以碧桂园为代表的采用高周转运营模式房企, 这种快速拿地, 快速施工的运营模式很难保证施工质量。此外, 我国破墙开店、野蛮装修的现象十分普遍, 这种势必会对建筑造成不可逆的结构性伤害。因

此, 在已经解决材料强度的基础上, 通过提高设计指标、施工质量、维护水平、指导居民合理使用等方法提高建筑的耐久性。

我国《混凝土设计规范》中有专门指导建筑加固、补强措施的条文。在确保结构安全的情况下, 我们应该鼓励任何形式的加固、修复措施以延长建筑的使用寿命[26]。此外, 经鉴定后, 将建筑降低使用标准而改变用途而非直接拆除也应得到支持。

4. 结论与评价

对于正处于工业化后期和城市化加速发展期的中国来说, 大规模的基础设施建设是难以避免的, 但过度消耗能源和自然资源、低寿命、建筑垃圾再利用率低等因素使得我国建筑业为建设资源节约型和环境友好型社会带来了巨大挑战, 推动我国建筑行业可持续发展是一个亟需解决的问题, 文章致力于为我国建筑业的可持续发展提出建议并做出如下总结:

房地产市场的投机行为吸引了大量社会资本, 这导致我国房地产出现了明显的过度开发现象, 具体表现为商品房住宅、办公用房、商业建筑等普遍存在的高空置率。房地产的过度开发不仅消耗了大量的自然资源和能源, 也挤占了城市宝贵的土地资源, 这在一定程度上又推高土地价格进而拉升房价, 形成恶性循环。抑制房地产的投机行为需要相应的政策手段, 虽然不能一蹴而就, 但在发展如此快速的中国, 这个问题值得政府提前研究对策以规范市场。

从世界范围来看, 建筑垃圾的再利用已经不存在技术难题, 我国建筑垃圾利用率远低于发达国家的原因主要是生产者出于成本的考虑, 但通过这种方式获得的成本优势是以牺牲环境为代价的, 而鼓励建筑垃圾资源化必将能够提高我国建筑垃圾的利用率。

推广新型环保建筑结构体系是结构工程师一直在努力的方向, 虽然我国木结构的发展因资源匮乏而受到了很大的限制, 但是我国却拥有丰富的竹林资源, 原竹经胶合工艺加工而成的胶合竹材依然具有较强的力学性能, 结合我国数千年木结构建造的经验, 在条件允许的部分地区发展现代竹结构体系既能够降低对传统建筑材料的需求, 又能充分利用可再生自然资源。

显然, 目前我国的建筑寿命普遍较低, 而且建筑材料的强度并非是导致我国建筑寿命短的主要原因, 因此, 通过提高设计指标、施工质量, 对旧建筑采取适当的加固措施或是降低使用标准改变使用功能都能提高建筑的使用周期, 从而提高我国建筑的更新周期。

参考文献

- [1] Antrop, M. (2004) Landscape Change and the Urbanization Process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, **67**, 9-26. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00026-4)
- [2] Vivian, W.Y., Tam, A. and Tam, C.M. (2006) A Review on the Viable Technology for Construction Waste Recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, **47**, 209-221. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.12.002>
- [3] 黄钦明. 论混凝土中氯离子对钢筋腐蚀及防腐对策[J]. 建筑监督检测与造价, 2013, 6(2): 59-61.
- [4] 易文, 马健霄, 聂忆华. 机制砂混凝土性能研究[J]. 中外公路, 2008, 38(3): 151-153.
- [5] Padmalal, D., Maya, K., Sreebha, S. and Sreeja, R. (2008) Environmental Effects of River Sand Mining: A Case from the River Catchments of Vembanad Lake, Southwest Coast of India. *Environmental Geology*, **54**, 879-889. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0870-z>
- [6] 郭静, 冯丹, 崔智博. 鹿泉市采石场分布及其对地质环境影响的调查分析论文[J]. 科技风, 2011(21): 34.
- [7] 胡炳南, 郭文砚. 我国采煤沉陷区现状、综合治理模式及治理意义[J]. 煤矿开采, 2018, 23(2): 1-4.
- [8] 张万新. 浅议我国住房空置率问题及相关控制措施[J]. 当代经济, 2011(21): 28-29.
- [9] 李南, 李湘洲. 发达国家建筑垃圾再生利用经验及借鉴[J]. 再生资源与循环经济, 2009, 2(6): 41-44.
- [10] 张长森, 祁非. 建筑垃圾作为水泥材料的实验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(9): 40-43.

- [11] Padmini, A.K., Ramamurthy, K. and Mathews, M.S. (2009) Influence of Parent Concrete on the Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Construction and Building Materials*, **23**, 829-836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006>
- [12] Chen, Z.P., Xu, J.J., Xue, J.Y. and Su, Y. (2014) Performance and Calculations of Recycled Aggregate Concrete-Filled Steel Tubular (RACFST) Short Columns under Axial Compression. *International Journal of Steel Structures*, **14**, 31-42. <https://doi.org/10.1007/s13296-014-1005-5>
- [13] Kim, S.K.C.J. (2013) Size Effect in Shear Failure of Reinforced Concrete Beams with Recycled, Aggregate. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, **12**, 323-330. <https://doi.org/10.3130/jaabe.12.323>
- [14] Katkhuda, H. and Shatarat, N. (2016) Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Using Treated Recycled Concrete Aggregate. *Construction and Building Materials*, **125**, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.034>
- [15] Knaack, A.M. and Kurama, Y.C. (2015) Behavior of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Coarse Aggregates. *Journal of Structural Engineering*, **141**, B4014001-B4014009. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001118](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001118)
- [16] 刘庆. 建筑垃圾在混凝土砌块生产中的应用研究[M]. 西安: 砖瓦杂志社, 2015: 39-42.
- [17] 贾治邦. 中国森林资源报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [18] 肖岩, 李佳. 现代竹结构的研究现状和展望[J]. 工业建筑, 2015, 45(4): 1-6.
- [19] 张俊珍, 任海青, 钟永, 等. 重组竹抗压与抗拉力学性能的分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(4): 107-111.
- [20] 肖岩, 杨瑞珍, 单波, 等. 结构用胶合竹力学性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(11): 150-157.
- [21] Li, Z., Yang, G.S., Zhou, Q., Shan, B. and Xiao, Y. (2019) Bending Performance of Gluban Beam Made with Difference Processes. *Advances in Structural Engineering*, **22**, 535-546. <https://doi.org/10.1177/1369433218794327>
- [22] 单波, 周泉, 肖岩. 现代竹结构人行天桥的研发和建造[J]. 建筑结构, 2010, 40(1):92-96.
- [23] 魏洋, 吕清芳, 张齐生, 等. 现代竹结构抗震安居房的设计与施工[J]. 施工技术, 2009, 38(11): 52-54.
- [24] 肖岩, 陈国, 单波, 等. 竹结构轻型框架房屋的研究与应用[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(6): 195-203.
- [25] 陈咪君, 仲科学, 洪剑成. 发达国家建筑寿命对我们监管工作的启示[J]. 安徽建筑, 2014, 21(5): 21-22.
- [26] 杨绍祺. 建筑物大规模改造中结构加固设计的研究与实践[J]. 工业建筑(增刊), 2010(40): 926-934.