



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废弃物资源综合利用技术丛书

JIANZHU FEIWU ZIYUANHUA LIYONG

建筑废物 资源化利用

赵由才 黄 晟 高小峰 等编著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

JIANZHU FEIWU ZIYUANHUA LIYONG

建筑废物 资源化利用

赵由才 黄 晟 高小峰 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共分8章,介绍了建筑废物资源化利用的新理论、新技术和新方法,系统归纳了现有建筑废物再生利用模式,提出了高阶利用理念可行性和主要方式,并通过部分工程应用实例实现了实效落地,旨在我国“十三五”城市矿山中建筑废物的资源化技术、产业链构建和实施提供参考。

本书内容全面,观点新颖,可供从事建筑废物处理处置的企业和建筑废物管理人员、工程人员参阅,也可供高等学校环境科学与工程、资源循环科学与工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

建筑废物资源化利用/赵由才等编著. —北京:
化学工业出版社, 2017. 11

(废物资源综合利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-30498-8

I. ①建… II. ①赵… III. ①建筑工业-废物综合利用 IV. ①X799.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第208253号

责任编辑:刘兴春 刘 婧

装帧设计:王晓宇

责任校对:王 静

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张15¼ 字数363千字 2018年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

《废物资源综合利用技术丛书》

编 委 会

主 任：岑可法

副 主 任：刘明华 陈冠益 汪 苹

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉
蒋自力	金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡
潘 荔	宋 云	王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆
杨小聪	张长森	张殿印	张 辉	赵由才	周连碧
周全法	祝怡斌				

《建筑废物资源化利用》

编著人员

编著者（以汉语拼音排序）：

高小峰	黄 晟	李杭芬	李 强	李 阳	鲁官友
陆沈磊	罗安然	施永军	司常钧	宋 楠	孙艳秋
谢 田	徐东升	杨德志	余 毅	曾 超	张 杰
张 骏	张华龙	赵由才	周家珍	周 涛	

近年来,我国每年仅新建房屋施工和旧房拆除两项就产生建筑废物约 $(2.4 \sim 3.6) \times 10^8 \text{ t}$, 建筑废物产生量占城市废物总量的 30%~40%。建筑废物主要由砂浆、混凝土、砖、废金属料、废塑料、竹木材、沥青块、包装材料和其他废物等组成,其中绝大部分建筑废物是可以作为再生资源重新利用的。目前我国建筑废物配套管理法规欠缺,大量建筑废物仍采用露天堆放和简易填埋的方式处置,并未得到有效利用。“十二五”期间虽已形成建筑废物资源化产业链的雏形,但其资源化产物附加值低、目标市场单一。建筑废物资源化利用在我国处于刚起步阶段。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》指出推进资源节约集约利用,推进城市矿山开发利用,加快建设建筑垃圾等资源化利用和无害化处理系统。国家发展改革委等 14 个部委联合印发《关于印发〈循环发展引领行动〉的通知》中指出“加快建筑垃圾资源化利用”,并提出到 2020 年,城市建筑垃圾资源化处理率达到 13% 的目标。《工业绿色发展规划(2016—2020 年)》通知中指出“加快推动再生资源高效利用及产业规范发展,围绕建筑废弃物等再生资源,加快先进适用回收利用技术和装备推广应用”。《绿色制造工程实施指南(2016—2020 年)》中指出“推进资源循环利用绿色发展示范应用,建筑垃圾生产再生骨料等技术改造升级,到 2020 年,主要再生资源利用率达到 75%;同时开展绿色制造技术创新及产业化示范应用,组织开发建筑垃圾资源化技术装备”。工业和信息化部、住房城乡建设部联合发布了《建筑垃圾资源化利用行业规范条件(暂行)》。另外,安徽省印发了《建筑垃圾再生资源化利用试点方案》的通知;河南省颁布了《关于加强城市建筑垃圾管理促进资源化利用的意见》;贵州省发布了《关于加强建筑垃圾管理促进资源化利用的通知》;江西省发布了《关于加强建筑垃圾管理和资源化利用工作的通知》;广州市颁布了《广州市建筑废弃物综合利用财政补贴资金管理试行办法》,长沙市印发了《长沙市建筑垃圾资源化利用管理办法》,郑州市发布了《加强建筑垃圾管理促进资源化利用工作实施方案》等。为有效推动建筑废物资源的综合利用,结合多年的科研成果以及国内外的相关技术等,编著了《建筑废物资源化利用》。

本书为《废物资源综合利用技术丛书》中的一分册。该书从我国建筑废物的现状出发,通过理论、实际技术和工程应用分析和归纳,全面完整地介绍了建筑废物资源化利用新理论、新技术和新方法,提供了未来建筑废物资源化技术和产业链构建的新思路,为我国“十三五”城市矿山中建筑废物的资源化规划提供理论参考和技术指导。

本书共分 8 章。第 1 章为概述部分,对建筑废物特征进行了介绍,通过我国建筑废物的产生量分析,对建筑废物的资源化可行性进行了评述,并介绍了我国资源化利用模式和国内外资源化产业水平;第 2 章介绍了建筑废物再生骨料生产过程粉碎、筛分、强化等预处理环

节，并对再生骨料材料性能进行了系统的表征和描述；第3章介绍了建筑废物再生骨料后续利用技术，包括建筑废物制造再生混凝土、砂浆、砌块等技术和工艺；第4章针对建筑废物中其他组分（沥青、其他有机质等），阐述其资源化利用途径，包括新型材料再生和复合材料制备；第5章在前几章的基础上，通过几项建筑废物再生利用示范工程，对建筑废物资源化利用过程技术、工艺、设备进行了更详尽的介绍；第6章围绕含重金属污染建筑废物开展有价值元素的富集研究；第7章对建筑废物资源化利用新技术、新设备和产业化进行了展望；第8章介绍了包括选址、总体设计、作业方式、封场布置等全套建筑废物末端填埋处置技术。本书具有较强的技术参考性，可供从事建筑废物处理处置、资源循环利用等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学校环境科学与工程、循环科学与工程及相关专业师生参阅。

本书主要由赵由才、黄晟、高小峰等编著，具体分工如下：第1章由黄晟、高小峰、李杭芬、曾超编著；第2章由孙艳秋、司常钧、鲁官友、周涛、高小峰、周家珍、施永军、张华龙编著；第3章由黄晟、高小峰、杨德志、徐东升编著；第4章由李阳、宋楠编著；第5章由杨德志、徐东升、余毅、陆沈磊、赵由才编著；第6章由李强、谢田、赵由才编著；第7章由张杰、张骏编著；第8章由罗安然、高小峰、黄晟编著。全书最后由赵由才统稿、定稿。

本书所列出的所有机械设备和厂家，仅仅是出于全书的完整性和论证性需要，撰写人员和出版社不为这些设备和厂家提供任何保证和推荐，也不为这些机械设备所造成的损失和其他任何问题承担任何经济 and 法律责任。另外，本书在编著过程中，参考了相关图书、期刊、论文等中的部分内容，在此表示衷心的感谢！

由于编著者水平和经验有限，书中疏漏和不足之处在所难免，敬请同行和专家批评指正。

编著者

2017年5月

1 建筑废物概述

1.1 建筑废物的定义、来源、分类及组成	001
1.1.1 建筑废物的定义	001
1.1.2 建筑废物的特性分析	002
1.1.3 建筑废物的分类及组成	002
1.2 建筑废物产生现状及危害	004
1.2.1 建筑废物产生现状	004
1.2.2 建筑废物产量估算	004
1.2.3 建筑废物危害	006
1.3 国内外建筑废物资源化再利用的现状 & 研究进展	006
1.3.1 国内建筑废物资源化利用现状	006
1.3.2 国外建筑废物资源化利用现状	007
1.3.3 我国建筑废物资源化与污染防治存在的问题	009
1.3.4 建筑废物资源化利用技术研究进展	010
1.4 建筑废物再生利用管理与制度保障	012
1.4.1 国外建筑废物管理现状	012
1.4.2 我国建筑废物资源化利用的难题	013
1.4.3 我国建筑废物再生利用的对策和建议	014
参考文献	016

2 建筑废物再生骨料

2.1 再生骨料概述	018
2.2 再生骨料性能指标与质量等级	019
2.2.1 再生粗骨料和再生细骨料共有的性能指标	019
2.2.2 再生粗骨料特有的性能指标	022
2.2.3 再生细骨料特有的性能指标	022
2.2.4 再生骨料质量等级	023
2.3 再生骨料制备技术及工艺设备	024
2.3.1 再生骨料制备工艺技术方案概述	024
2.3.2 再生骨料的原料筛选	025
2.3.3 再生骨料的破碎设备及配置	026
2.3.4 砂石骨料生产系统	036

2.3.5 制砂生产线系统	046
2.3.6 建筑废物破碎生产线系统	048
2.4 再生骨料标准	050
2.4.1 国内相关标准	050
2.4.2 国外相关标准	050
参考文献	051

3 建筑废物再生骨料后续利用技术

3.1 再生骨料混凝土	053
3.1.1 再生骨料混凝土制备工艺	053
3.1.2 再生骨料混凝土性能	054
3.2 再生骨料砂浆	055
3.2.1 再生骨料砌筑砂浆	055
3.2.2 再生骨料抹灰砂浆	056
3.2.3 再生骨料地面砂浆	056
3.2.4 我国《再生骨料应用技术规程》对再生骨料砂浆的基本规定	057
3.3 再生骨料砌块制备工艺	057
3.4 新型再生建材墙材成套技术	059
3.4.1 生态墙板	059
3.4.2 绿色建材——高效自保温墙体材料	062
参考文献	065

4 建筑废物中其他组分再生利用

4.1 旧沥青再生利用	066
4.1.1 旧沥青再生剂	066
4.1.2 旧沥青再生工艺	068
4.1.3 再生沥青混合料的性能	071
4.2 建筑废物中有机物质再生利用	073
4.2.1 建筑废物中有机物质的主要种类	073
4.2.2 废旧塑料的再生利用技术工艺	074
4.2.3 废旧木材的再生利用技术	076
4.2.4 废旧塑料及木材生产木-塑复合材料	080
4.2.5 废旧难降解废物生产复合板材	081
参考文献	086

5 建筑废物再生利用工程示范

5.1 都江堰市灾毁建筑废物处理及资源综合循环利用工程	087
5.2 玉树地震建筑废弃物处置与综合利用	098

5.3 某企业建筑废物资源化处置中心项目	103
5.3.1 处置中心项目概述	103
5.3.2 建筑废物资源化处置生产线工艺流程	105
5.3.3 建筑废物再生利用产品	114
5.3.4 建筑废物处置项目主体及规划	115
5.3.5 人力资源配置	120
5.4 某企业建筑材料再生资源利用中心工程	121
5.4.1 建筑废物综合处理	121
5.4.2 建筑废物再生产品类型	125
5.4.3 建筑废物资源化利用处理工艺功能分区	127
5.4.4 除尘工艺技术及设备	132
5.5 某市基础工程有限公司建筑废物资源化利用示范工程	137
5.6 西部某建筑废物处理厂工程	150
5.6.1 预处理工序	151
5.6.2 深加工工序	154
5.6.3 物料平衡	154
5.6.4 建筑废物处理工程工艺参数控制及主要设备	156
参考文献	159

6 含重金属建筑废物重金属富集回收

6.1 风选富集含铅锌建筑废物	160
6.2 富集含铅锌建筑粉尘中分离去除杂质氯	162
6.3 含铅锌建筑粉尘强碱浸出工艺	165
6.3.1 浸出影响因素分析	165
6.3.2 微波辅助浸取	166
6.3.3 超声辅助浸取	168
6.3.4 压力强化浸取	171
6.3.5 各种工艺的浸出渣及最佳条件下的金属离子浸出率	172
6.4 “低电压直流电解-活性锌粉置换”两步法回收铅	174
6.4.1 低电压电解回收	174
6.4.2 活性锌粉置换回收铅	176
6.4.3 置换过程的影响因素	177
6.5 氧化钙添加法回收建筑废物中的铝	179
参考文献	179

7 建筑废物高阶资源化利用

7.1 建筑废物的高阶利用	180
7.1.1 总体思路和原则	180

7.1.2 建筑废物高阶利用方式	181
7.2 新型设备的开发	184
7.2.1 联合粉磨成套设备	184
7.2.2 原位或移动式再生设备	185
7.2.3 Rockster 移动破碎站产品技术介绍	187
7.3 建筑废物处理及资源化技术发展趋势	189
7.3.1 新技术、管理模式发展基本原则	189
7.3.2 建筑废物层压再生	190
7.3.3 原位资源化技术	190
7.3.4 建筑废物处理资源化产业化	191
参考文献	192

8 建筑废物末端填埋处置技术

8.1 概述	193
8.1.1 建筑废物环境危害性	193
8.1.2 建筑废物填埋场建设的意义	194
8.1.3 建筑废物填埋场污染研究进展	194
8.2 建筑废物填埋场选址	196
8.2.1 选址原则及要求	196
8.2.2 填埋场选址的方法和程序	197
8.2.3 场地综合地质勘探	197
8.3 填埋场总体设计	198
8.3.1 工程设计内容和规模	198
8.3.2 运营管理范围	198
8.3.3 总体设计内容	198
8.4 填埋工艺	201
8.5 填埋场填埋作业	201
参考文献	203

附录

附录一 工程施工废弃物再生利用(GB/T 50473—2012) 技术规范	204
附录二 再生骨料应用技术规程(JGJ/T 240—2011)	221

索引



建筑废物概述

1.1 建筑废物的定义、来源、分类及组成

1.1.1 建筑废物的定义

在我国,建筑废物的收运常与城市其他生活垃圾相混杂,相关的法律法规及制定的标准还未统一,专家、学者对其定义也有众多观点,所以目前建筑废物还没有非常明确和详尽的定义。

(1) 法律法规上对建筑废物的定义

在我国建设部(现住建部)1996年颁布的《城市垃圾产生源分类及垃圾排放》(CJ/T 3033—1996)中,规定将城市垃圾产生源分为居民垃圾产生场所、清扫垃圾产生场所、商业单位、行政事业单位、医疗卫生单位、交通运输垃圾产生场所、建筑装修场所、工业企业单位和其他垃圾产生场所九大类。该法规可以理解为建筑废物主要产生于建筑装修场所,但是不难发现,其他诸如居民垃圾产生场所、商业单位、行政事业单位等垃圾产生源同样会产生建筑废物。

建设部2003年颁布的《城市建筑废物和工程渣土管理规定(修订稿)》中规定,建筑废物、工程渣土是指建设、施工单位或个人对各类建筑物、构筑物、管网等进行建设、铺设、拆除、修缮及居民装饰房屋过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及对建筑物本身无用或不需要的其他垃圾。在这项法规中对建筑废物的定义更加详尽,不仅明确了建筑废物产生渠道的多样性,而且将余泥、余渣、泥浆等也归在建筑废物范畴。

2005年3月23日建设部又发布,并于同年6月1日施行了《城市建筑废物管理规定》,在该规定中又对建筑废物做出了补充说明:所谓建筑废物,是指建设单位、施工单位新建、改建、扩建和拆除各类建筑物、构筑物、管网等以及居民装饰装修房屋过程中所产生的弃土、弃料及其他垃圾。

除了国家颁布的法律法规之外,一些地方性的法规和条例也对建筑废物做出了说明,例如《广州市建筑废物管理条例(征求意见稿)》和《深圳市建筑废物处置和综合利用管理办法(征求意见稿)》。其中对建筑废物的定义为:单位和个人新建、改建、扩建、修缮、拆除、清理、平整各类建筑物、构筑物、管网、场地等所产生的余泥、弃土、弃料及其他垃圾。

2006 年 11 月，西安市政府发布的《西安市建筑废物管理办法实施细则》中对建筑废物的定义为：建筑废物指建筑物、构筑物、园林绿化、市政设施建设、维修、零星修缮、拆除等施工过程中所产生的渣土、弃土、弃料、淤泥及其他废弃物。

（2）研究领域对建筑废物的定义

在研究领域内，众多学者专家对建筑废物的定义也有自己的见解。一般认为建筑废物是指在建筑物或构筑物的建设、维修、拆除过程中产生的固体废弃物，主要包括了废弃混凝土块、废沥青混凝土块、废弃砖块、废弃木材、钢筋头、塑料制品、小五金等；施工过程中散落的砂浆、混凝土、碎砖渣和其他建筑物不再需要的废物；施工过程中开挖基础的基坑土、边坡土、碎石等，家庭和其他各类单位企业装修过程中产生的各种废弃物等。概括地说，建筑废物就是工程槽土、拆迁废物及各类装修垃圾。

结合专家学者和我国各类法律法规中对建筑废物的定义，综合建筑废物本身特性，笔者将建筑废物定义为：建筑废物是指居民、企业、施工单位等对建筑物、构筑物、管网等进行建设、铺设、拆除、修缮及装饰过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及对建筑物本身无用或不需要的其他垃圾。

1.1.2 建筑废物的特性分析

（1）时间性

对任何建筑物来说，其使用都是有年限的，这在保障人民生命和财产安全方面也具有重大作用。随着时间流逝，任何建筑物最终都会变成建筑废物，并且被新物质所取代。

（2）复杂性

建筑废物数量大、组成成分也相对复杂，并且在我国常与生活垃圾混杂，污染途径多。一些可直接利用或可回收再利用的建筑废物由于混杂在其他可能造成交叉污染的垃圾之中，造成其回收困难或不适宜回收，资源化程度降低，在一定程度上也造成了资源的浪费。

（3）危害性

建筑废物对环境和生态还具有一定的持久危害性。诸如渣土、碎石块等惰性建筑废物来说，表面上好像对环境和人体并不会造成太大影响，但是长期不做处理地堆放，其稳定之前还是会挥发出很多有机酸，其渗滤水还包含有重金属离子等，对周边地下水、地表水、土壤和空气也会造成影响。即使建筑废物趋于稳定之后，仍存在占用大量土地的问题。

1.1.3 建筑废物的分类及组成

1.1.3.1 建筑废物的分类

（1）按照来源分类

根据其来源不同，建筑废物主要可以分为 5 大类。

1) 土地开挖垃圾 指的是一般未做特殊处理的土地在开挖过程中产生的垃圾，分为表层土和深层土。

2) 道路开挖垃圾 根据道路性质不同又分为混凝土道路开挖垃圾和沥青道路开挖垃圾，包括废弃混凝土块、沥青混凝土块等。

3) 建筑物拆除垃圾 主要分为石块、混凝土、渣土、木材、灰浆、屋面废料、钢铁和废弃金属类等。

4) 建筑施工垃圾 包括建设施工项目和装修项目产生的垃圾。主要包括废弃砖头、混凝土、石头、渣土、桩头、石膏、灰浆、木材、塑料、玻璃等。

5) 建材生产垃圾 主要是指为生产各种建筑材料所产生的废料和废渣,以及在建材成品加工和运输过程中产生的碎块、碎片等。

(2) 按照材料类型分类

按照建筑废物的材料类型不同,建筑废物又可以分为以下3类。

1) 可直接利用的建筑废物 例如一些窗、梁、尺寸较大的木料等,作为原材料可以直接被加工利用。

2) 可作为材料再生或可回收再利用的建筑废物 这类废物主要是矿物材料、未处理过的木材和金属等,一般再生后废弃物形态和功能会发生一定改变。

3) 无价值建筑废物 顾名思义,这种废物不能作为原材料被直接或间接使用,例如砖块、渣土等。但在某些情况下,这类建筑废物经处理后可用来铺路等。

(3) 按照可资源化程度分类

建筑废物还可以按照其可资源化程度进行分类。建筑废物的资源化是指采取物质回收、物质交换、能量转换等管理和技术手段从建筑废物中回收有用的物质和能源,而可资源化程度是指建筑废物在一定技术或管理条件下被资源化的难易程度。西安科技大学的牛佳在其硕士论文中就参照了有关资料后建立了建筑废物的评估模型,按照其评价指标体系和物元分析评价方法,将建筑废物的可资源化程度分为了优、良、中、差四个等级,可做参考^[1]。

1.1.3.2 建筑废物的组成

建筑废物的组成非常复杂,根据其产生的途径或活动类型的不同以及建筑结构的差异,建筑废物的组分也参差不齐。按照建筑废物产生量与产生途径的关系,主要阐述建设施工过程中、建筑物拆除过程、建筑物装修过程中产生的建筑废物的组成。

(1) 建设施工过程中产生的建筑废物

这类活动过程中产生的建筑废物组成基本一致。主要包括土、渣土、散落灰浆、砂浆、混凝土、废弃砖块、石块、废弃木材、混凝土碎块、钢筋混凝土桩头、废弃金属配件、小五金、塑料、木屑、刨花、包装材料、金属管线废料等。对不同类型的建筑施工过程来说,其垃圾组分也不同,且受到施工管理情况等的影响。

(2) 建筑物拆除过程中产生的建筑废物

与建设施工过程中产生的建筑废物的组分相比,这类过程中产生的建筑废物与建筑物本身特性有关,其组成差异性相对明显。它的组分主要包括:惰性废物如砂子、砖块、加固混凝土、混凝土、渣土、碎石等;非惰性废物如木材、塑料、玻璃、纸类、蔬果类和其他有机垃圾。

(3) 建筑物装修过程中产生的建筑废物

这类垃圾的产量与建设施工过程中产生的建筑废物的量相比要小得多,但是比较分散,从居民、各单位、各企业到各建筑单位,都不定期不定点地分布有此类活动。装修过程中产生的建筑废物主要包括废弃钢筋、废铁丝、金属边角料、小五金、各种装饰材料、竹木、废木屑、刨花、包装箱、包装袋、塑料、砂浆、混凝土、碎砖石、砂子、石块、桩头等^[2~7]。

1.2 建筑废物产生现状及危害

1.2.1 建筑废物产生现状

在我国,近30年以来,随着经济的高速发展,大规模的城市化、基础设施建设、土木建筑等在我国发挥着越来越重要的作用,而建筑废物产生量也随之呈现迅猛增长的趋势。

特别是城市化进程的加快,更是加剧了建筑废物的产生,已成为我国全面城市化发展面临的新难题。到2020年,我国还将新增建筑面积约 $3.0 \times 10^{10} \text{ m}^2$ 。据粗略统计,在每万平方米建筑施工过程中产生建筑废物约500~600t,按此推算,近几年积累下来的建筑废物将达到数十亿吨。我国建筑商品房的交付以毛坯房形式为主,因此无论新交付的建筑商品房还是已入住的建筑商品房的室内装修施工量都较大,且一般独立于主体建筑施工,因此装修产生的垃圾量也占一定的比例。此外,由于自然灾害损毁和灾后重建产生的建筑废物在我国建筑废物总量中也占了很大比重。据震后初步估计,2008年四川汶川大地震灾害带来的建筑废物高达 $6.0 \times 10^8 \text{ t}$,堆积体积达 $4.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

一般来说,建筑材料的生命周期通常为50~100年,我国建筑的生命周期大多为25~30年^①。在未来的几十年内,大量的建筑物和构筑物尤其是生活区和企业工厂车间将达到使用年限,或在城市更新、改造中被拆除。并且,近年来为了解决雾霾等环境问题,国家开始加大力度淘汰钢铁、水泥、电解铝、汽车等产能过剩行业,所以这些行业构筑物在新建、改建、修缮、拆毁过程中也将产生大量的建筑废物。目前,随着经济的迅速发展和城市化进程的加快,我国新建、改扩建、修缮及拆迁项目每年产生建筑废物约 $2.4 \times 10^9 \text{ t}$,其中北京、上海等大城市建筑废物年排放量均在 $4.0 \times 10^7 \text{ t}$ 以上。建筑废物占城市固体废物总量的30%~40%,且呈现逐年增加的趋势,并已成为环境污染的主要因素之一。预计至“十三五”期间每年建筑废物产生量将达到 $3.5 \times 10^9 \text{ t}$,但与此同时其再生利用率却仅有5%。

1.2.2 建筑废物产量估算

由于目前对建筑废物还没有统一、精确的定义和分类,并且受到相关统计数据缺乏的限制,关于建筑废物的产生量众说纷纭。本部分综合各种已有的报道和文献资料,阐述了建筑废物产量的估算方法,并介绍了几种具有参考性的建筑废物产量影响因素提取结果。

1.2.2.1 建筑废物产量估算现状

提供一些大、中、小型城市的建筑废物产量调查数据作为参考。

根据申报统计,目前上海市每年产生建筑废物和工程渣土约为 $(2.3 \sim 2.4) \times 10^7 \text{ t}$;根据同济世博研究中心专家组测算,整个世博工程产生建筑废物 $4.0 \times 10^7 \text{ t}$;据估计,西安市在建的建筑工地目前年产建筑废物大概 $3.0 \times 10^7 \text{ t}$,且其预备拆迁的建筑废物,总量预期将达到西安市近10年产生的建筑废物总和;深圳市由于大量的房地产开发及市政工程建设,其建筑废物存量已达 $6.0 \times 10^7 \text{ t}$ 以上,并还将持续攀升;珠海市全年产生建筑废物约 $2.25 \times 10^6 \text{ t}$ 以上,而且正在以每年10%的速度持续增加。然而这些调查数据并不能直观反映我国

① 吕玥.提高中国城市房屋建筑寿命的探讨[J].甘肃科技纵横,2011,40(5):143-144.

建筑废物产量现状，许多学者和专家也尝试着用各种计算方法来对全国建筑废物产量做出估算。

1.2.2.2 建筑废物产量的主要估算方法

在建筑废物产量估算过程中，一般将其分为建筑施工过程产生废物、旧建筑拆除产生废物和建筑装修过程产生废物三类进行计算和叠加，下面分别介绍每种建筑废物的产量估算方法。

(1) 建筑施工过程产生废物

对于建筑施工过程中产生的建筑废物产量，可以从 3 种途径进行估算。

1) 按建筑面积计算 通常对于砖混结构的住宅，每 10000m² 建筑物的施工平均将产生 300m³ 的废渣量；对于砖混结构、全现浇结构和框架结构等建筑物，在 10000m² 建筑物的施工过程中平均产生 500~600t 的废渣量。

2) 按施工材料消耗量计算 建筑施工过程中产生的建筑废物产量与所消耗的材料总量密切相关，但也受到不同施工单位管理严格程度的影响。总的来说，利用施工材料消耗量来推算这类废物产量是相对可行的，作为参考，表 1-1 给出了建筑施工废物各主要组成部分占相应材料消耗量的比例。

表 1-1 建筑施工废物各主要组成部分占相应材料消耗总量比例

建筑废物主要组成	占相应材料消耗总量比例/%
碎砖(碎砌块)	3~12
砂浆	5~15
混凝土	1~4
桩头	5~15
屋面材料	3~8
钢材	2~8
木材	5~10

3) 按城市人口产出比例计算 已有相关统计数据表明，若按照城市建设过程中每人每年平均产生 100kg 建筑施工废物计算，其得到的建筑废物总量与其他方法得到的数据相差不大。以上海市建筑废物产生量为基础数据，通过计算得出城市人均产生建筑施工废物约为 0.17t。

(2) 旧建筑拆除产生废物

这部分废物性质相对复杂且无准确的统计数据，可以对其采用经验系数法和施工概预算法进行估算。

1) 经验系数法 日本在 1999 年完成的住宅区完工报告书中指出，通过计算每平方米建筑物拆除 1.86t 的建筑废物；我国某家住宅公司的数据表明，每平方米住宅产生 1.35t 建筑废物。由于统计数据的方式和对废物的界定不同，经验系数也受到多种因素影响。

2) 施工概预算法 在假定所有建筑材料在施工前和拆除后总量守恒的基础上，用单位面积的建材消耗量和建筑面积算得施工中的建材用量，也就是拆除后的建筑废物产量。但实际情况下，建筑材料在施工前和拆除后形态会发生很大变化，所以这种方法作为一种参考估算模式存在。

(3) 建筑装修过程产生废物

由于公共建筑一般建筑面积大、装修过程复杂、使用材料繁多,而普通居民住宅建筑装修面积小且相对简单,所以在实际建筑装修过程废物产量的计算过程中也应将普通建筑住宅和公共建筑分类做出估算。对于该类型建筑废物产量,可以借鉴河南省洛阳市颁布的建筑装修废物产生量标准进行计算。该标准中指出,建筑面积大于 160m^2 的住宅,可以按照 $0.15\text{t}/\text{m}^2$ 来计算其建筑装修废物产量;而建筑面积小于 160m^2 的住宅则按照 $0.1\text{t}/\text{m}^2$ 来计算。

1.2.2.3 建筑废物产量的主要影响因素

建筑废物产量与诸如建筑面积、建材用量、建材市场波动、人口数量、施工管理情况、拆除办法等众多影响因子相关,要建立模型并对其做出估算还需所用影响因子尽量用可量化数据代替,而很多指标又受到统计数据缺乏的限制。

在综合考虑各种因素后,就影响建筑废物增加或减少两方面的因素,选出了城市人口、建筑施工面积、拆除工程量、装修工程量、建材消耗量、开挖工程量几个指标来表示影响其增加的指标,用建筑废物回收率、政府管控力度、绿色建材使用率来表示影响其减少的指标;并利用专家打分法和主成分分析法最终确定:拆除工程量、建筑面积、装修工程量和城市人口 4 个因素是影响建筑废物产生量的主要因素。

综上,结合大量已报道或文献资料,拆除工程量、建筑面积、装修工程量、商品房销售面积和城市人口这几个因素是影响建筑废物产生量的主要因素,对建筑废物产量的估算有重要的参考价值。

1.2.3 建筑废物危害

建筑废物产生来源广泛,办公住宅建筑施工、拆除等不同阶段产生的建筑废物以及工业企业建筑拆毁、改扩建等过程产生的建筑废物差异较大。

非工业源的一般建筑废物,可经破碎、分选等物理处理后安全再生利用或处置。但由于缺乏成熟的废物回收市场,建筑废物大多在未经处理的情况下直接被施工单位运往城郊,采取非法倾倒、露天堆放或者简易堆置,既占用了大量土地资源,也对土壤、地表水和地下水带来潜在环境危害,成为新的垃圾源头,造成二次污染,同时影响城市周边生态环境。

来源于工业企业的建筑废物,其污染性质复杂,不同工业类型生产企业产生的建筑废物污染特性各异,甚至同一工业企业内不同工艺阶段的建筑废物仍存在显著差别。化工、冶金、火电、轻工等工业企业,生产运行期间存在含重金属、硫酸盐、有机物(如多环芳烃等)等有毒物质的生产原料或产品渗漏至地面、喷洒至墙壁等情况,其中的污染物经雨水淋溶而转移至渗滤水中,随水体迁移污染周边土壤和水域,进而扩大污染范围。近年来,我国每年均有大量化工、冶金、火电、轻工企业面临拆迁或改建,由此产生数量庞大的含污染物的建筑废物,对生态环境构成了新的威胁。但迄今为止,我国关于工业企业建筑废物处置与资源化的科学研究和政策法规均相对滞后,给经济 and 环境的和谐发展带来了巨大压力。

1.3 国内外建筑废物资源化再利用的现状与研究进展

1.3.1 国内建筑废物资源化利用现状

我国政府制定的中长期科教兴国战略和社会可持续发展战略,鼓励废物的研究和利用。

建设部(现住建部)也将“建筑废渣综合利用”列入了1997年科技成果重点推广项目。近年来,我国对建筑废物利用的工艺缺乏有效研究,导致很多工艺基本上借鉴国外技术,资源化利用技术没有实现突破,例如高效回收利用的关键技术与装备开发,资源化、能源化关键技术等,导致了我国建筑废物资源化水平较低。

建筑废物经过适当处理后可制成再生骨料等加以利用,如用作再生混凝土骨料,同时其再生利用可以节约填埋空间和土地。国内逐步开始研究废弃混凝土的再生利用技术和再生混凝土骨料的性能,如骨料的生产和再生骨料物理性能等,并发布了我国首个关于再生骨料的规范——《再生骨料应用技术规范》(JGJ/T 240—2011)。对再生骨料混凝土的抗弯抗剪性能、抗压性能及抗震性能均进行了研究,并在道路和建筑中成功地利用了再生混凝土骨料。由于再生骨料往往其物理性能和耐久性较差,在混凝土应用中常受到限制。同济大学也开展了再生骨料、再生混凝土领域的研究,并将绿色建材列入重点建设发展的学科之一。

随着我国经济的迅速发展和城市化进程的快速推进,新建、改扩建、修缮及拆迁项目产生了大量建筑废物。我国建筑废物处置与资源化方式主要包括卫生填埋或简易填埋、再造建材、回填标高或堆山造景、围海造地等。然而,建筑废物的低水平资源化导致其再生建材应用率较低,高昂的建筑废物卫生填埋成本导致绝大部分建筑废物以露天堆放、简易填埋等粗放方式处置,最有价值的建筑废物资源也只是作为回填料简单使用。例如,在拆除房屋中仅回收一些尚完整的砖石、钢材及部分残碎料用作道路、基础垫层、场地回填。

上海、北京等地区的一些建筑公司对建筑废物的再利用做了一些有益的尝试。例如,上海建筑构件制品公司开始利用建筑废物制作混凝土空心砌块,其产品各项技术指标完全符合上海市《混凝土小型空心砌块工程及验收规程》的要求。我国除河北省邯郸市、邢台市,河南省许昌市,四川地震灾区都江堰市等少数城市利用建筑废物生产再生建材,且综合利用率超过98%,其余绝大多数城市的建筑废物仍多未经处理就被运往郊外露天堆放或简单填埋,很少资源化利用,资源化率不足5%。

中国香港在1998年每天产生3万多吨建筑废物,当时主要以填埋为主,仅对其中的塑料、纸张和木料进行分类处理,占据了大量的填埋场库容。建筑废物分类再利用逐渐成为趋势,且源头分类得到了建筑商的支持,加上健全的法规,实现了建筑废物源头分类,可解决填埋场短缺的问题。但到2004年,中国香港每年产生2000多万吨建筑废物,使得建筑废物填埋场在2012年前基本饱和。为了减轻填埋压力,对建筑废物再生利用显得尤为必要,于是中国香港政府建立多家建筑废物再生利用厂,生产各种建筑废物再生骨料。以中国香港湿地公园为例,利用了近14300m³再生混凝土骨料,但对再生骨料有严格质量限定,为了扩大建筑废物再生利用率,用破碎砖瓦细骨料替代20%的天然骨料。还有学者从制度、经济和技术等方面对建筑废物再生利用进行了评估,并研发了新的建筑废物分离工艺,分离出可用于道路路基的材料,以及可用于建筑骨料、路基基层材料和建筑工程的回填材料。

1.3.2 国外建筑废物资源化利用现状

我国建筑废物大多以填埋或堆放处置为主,资源化利用率尚不足5%,而欧盟国家建筑废物资源化利用率超过50%,韩国、日本已经达到了97%左右。在专业化的工艺技术领域,美、德、日这些发达国家经过长期的实践积累,已经形成了围绕建筑废物资源化的先进科学的成套技术和设备,实现了较高等度的建筑废物资源化。下一步他们将以追求获得更高效、