



北京工业大学
BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

建筑废弃物可持续和可循环的全过程评价 体系研究

汇报人：周永祥教授
张仁杰



研究背景

The background of the study



国外研究现状

Current research status at home and abroad



国内研究体系

Progress of project work



PART 1

研究背景

The background of the study



一、建筑废弃物的定义



来源: Veer图库 www.veer.com

➤ 建筑废弃物

近年来，随着城镇化进程的快速推进，建筑废弃物大量产生。然而，我国建筑废弃物资源化利用率确很低，目前还不足10%。同时，在可持续和可循环过程中存在能耗多、成本高、环境二次污染、再生产品性能不高、推广难、技术不成熟、综合利用企业生产不规范及相关政策制度标准不完善等诸多问题。针对以上问题，结合国家相关政策，研究建筑废弃物可持续和可循环的全过程评价体系。

目前，关于建筑废弃物的定义，美国、日本、欧盟、中国、香港等不同国家和地区给出了不同的阐述，而建筑行业 and 学术界也未达成统一观点，分别给出了不同的定义和解释。本文以建筑废弃物为对象着重研究其资源化利用问题，因此选取《建筑废弃物再生工厂设计标准（GBT51322-2018）》中对建筑废弃物的概念界定即建筑废弃物是指在新建、扩建、改建以及拆除各类建筑物、构筑物、管网等工程 and 装饰工程中所产生的固体废物。

二、建筑废弃物的特点

➤ 产生量大

据建筑行业数据显示，每新建1m²预计产生0.3t建筑废弃物，对于居民住宅装修，每1m²预计产生0.1t建筑废弃物，而每拆除1m²将会产生1.3t建筑废弃物。

➤ 可利用价值大

建筑废弃物虽然产量大、成分复杂、具有危害性，但其中的很多废料都可以被再利用，且可利用价值较大。据前瞻产业研究院资料显示，每资源化利用1亿t建筑废弃物可以减少1.5万亩的土地占用，新增84.6亿元产值，减少CO₂排放130万t。



➤ 组成成分复杂

由于我国基础设施建设种类多、拆除和兴建更新时间快、体量规模庞大，导致我国建筑废弃物来源广泛，组成成分复杂多样。不同来源的建筑废弃物其主要组成成分有明显的差异。

➤ 具有危害性

近年来，国家提出将建筑废弃物进行资源化利用，减少露天堆放和填埋，这是因为建筑废弃物的露天堆放和简易填埋具有很大的危害性。如侵占土地，污染水体、空气、土壤，影响市容和环境卫生等。



PART 2

国外研究现状

Current research status at home and abroad





一.国外研究现状

西方发达国家的城市化起步早、程度高，整体比我国快 20 余年，因此较早的开始了建筑废弃物资源化利用方面的研究，以德国为首的欧美发达国家的研究相对成熟。国外对建筑废弃物可持续和可循环的全过程评价体系的研究主要存在以下几个方面。



技术方面



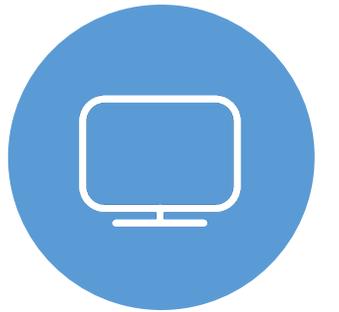
经济方面



管理方面



产业化发展和环境方面



政策法规方面



图像分析法
碱活化水泥技术
再生骨料混凝土



成本收益法
建筑废弃物的回收利用
系统动力学技术



美国绿色建筑
评价体系 LEED
回收管理仿真模型



包络分析法
生命周期评价
物质流分析

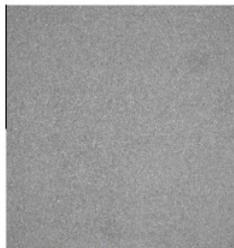


建筑废弃物
资源化利用
建筑废弃物管理

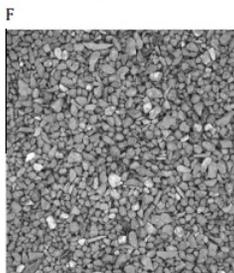


1.技术方面

图像分析法



0.25 ≤ d < 0.5

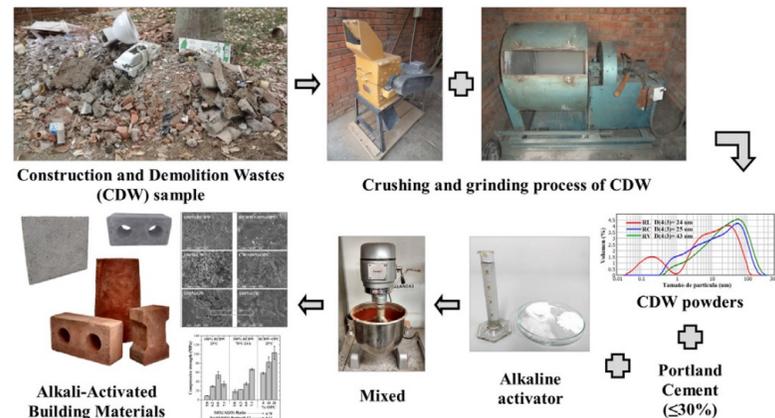


4.0 ≤ d < 8.0

Maria 等专家采用“图像分析法”对建筑废弃物骨料的粒径分布进行分析，并将此方法应用于再生建材厂的骨料粒径分析评价，结果表明“图像分析法”与“手工筛选法”识别粒径分布的结果相似度高达 85%，得出“图像分析法”可以用在再生建材厂生产线上的结论。

碱活化水泥

Robayo 等人对以建筑废弃物（例如废弃混凝土、废弃红土砖和玻璃废料）为原料制作碱活化水泥技术进行了分析研究，通过测定水泥试块的抗压强度证明了碱活化水泥技术可用于砖石、板材等建筑材料的制造。



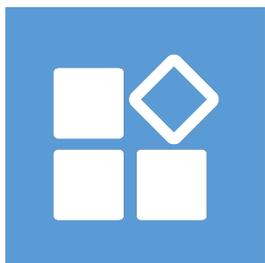
再生骨料混凝土

Sabai 和他的团队做了大量研究性实验，证明再生骨料混凝土的抗压强度可以达到标准要求，技术上完全可行可用。





2.经济方面



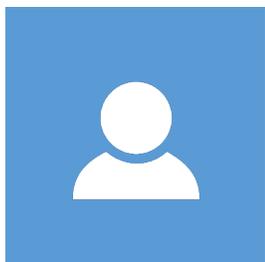
成本收益法

Tam 利用成本收益法将废弃混凝土的资源化利用与传统处置方式进行了分析比较，研究数据表明废弃混凝土材料资源化利用制成再生骨料在经济方面可产生净效益。



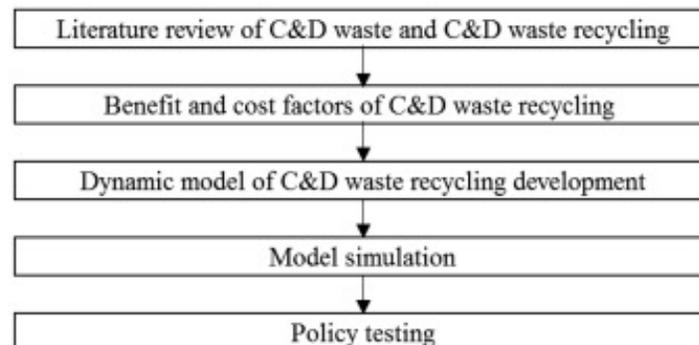
建筑废弃物的回收利用

Ajayi 等人通过大量理论和实践案例研究得出人们对建筑废弃物的回收利用成本通常考虑不足，建筑废弃物的回收利用可以产生不错的经济收益。



系统动力学技术

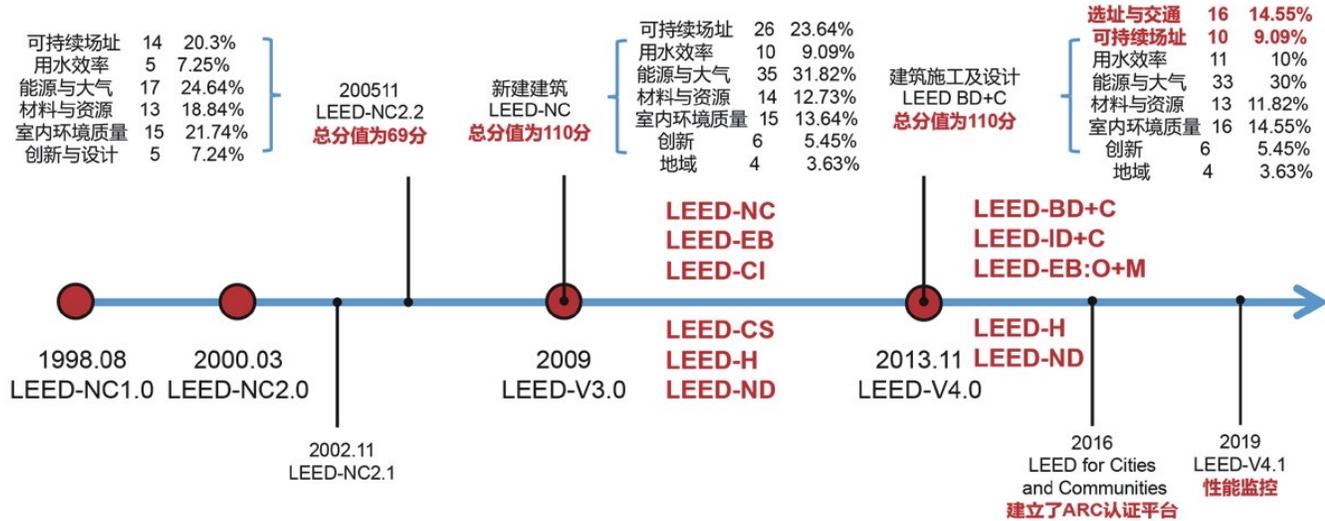
Doan 等人利用系统动力学技术，建立了泰国曼谷建筑废弃物回收利用项目分析模型，分析了项目的总成本和总收益，验证了建筑废弃物回收计划在经济上的可行性。





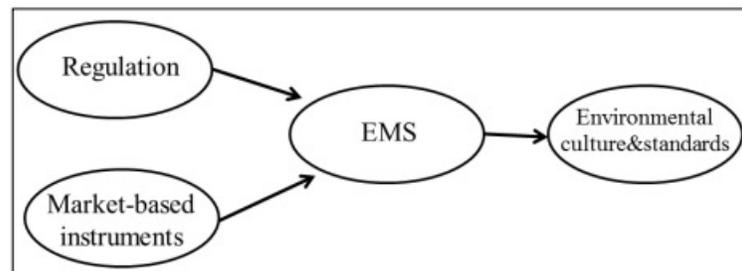
3.管理方面

美国绿色建筑评价体系 LEED



美国绿色建筑评价体系 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 是一个用于评估建筑物和社区在环境可持续性方面表现的系统。LEED 由美国绿色建筑委员会 (U.S. Green Building Council, USGBC) 开发, 主要目的是推动建筑行业采用更环保的设计和建设标准。LEED 评价体系涵盖了多个方面, 包括能源使用、环保材料、室内环境质量等。具体内容包括: 1. 认证等级、2. 评价类别、3. 评价领域、4. 积分系统、5. 更新与版本。

加拿大M.A 教授研究分析了日本和德国在建筑废弃物方面的政策和法律法规, 提出了将美国绿色建筑评价体系 LEED标准和绿色评价标准应用到建筑废弃物资源利用管理中的建议。



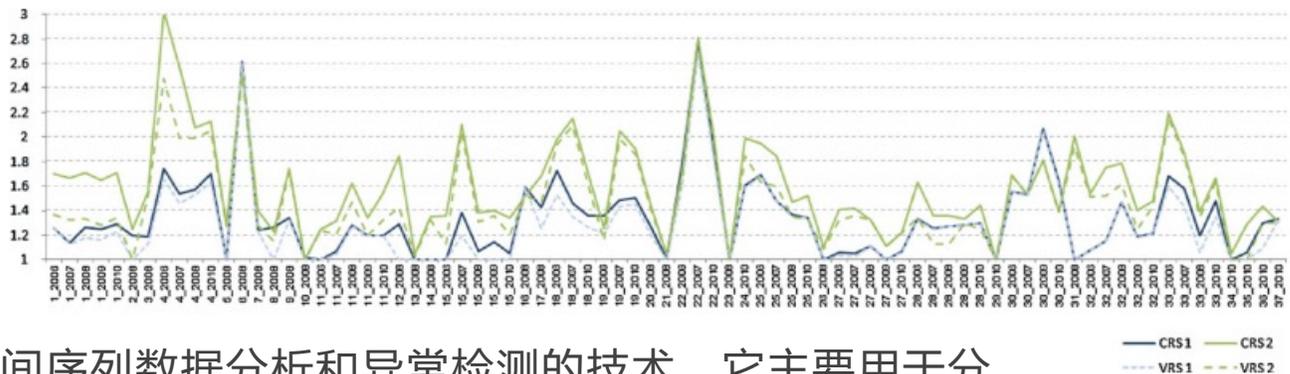
回收管理仿真模型

Calvo 等人针对国内建筑废弃物随意填埋现象, 引导、鼓励企业加大对建筑废弃物的回收利用, 采取了税收惩罚和经济激励措施, 同时建立企业建筑废弃物回收管理仿真模型, 研究分析了政府在企业建筑废弃物集料回收过程中的影响。

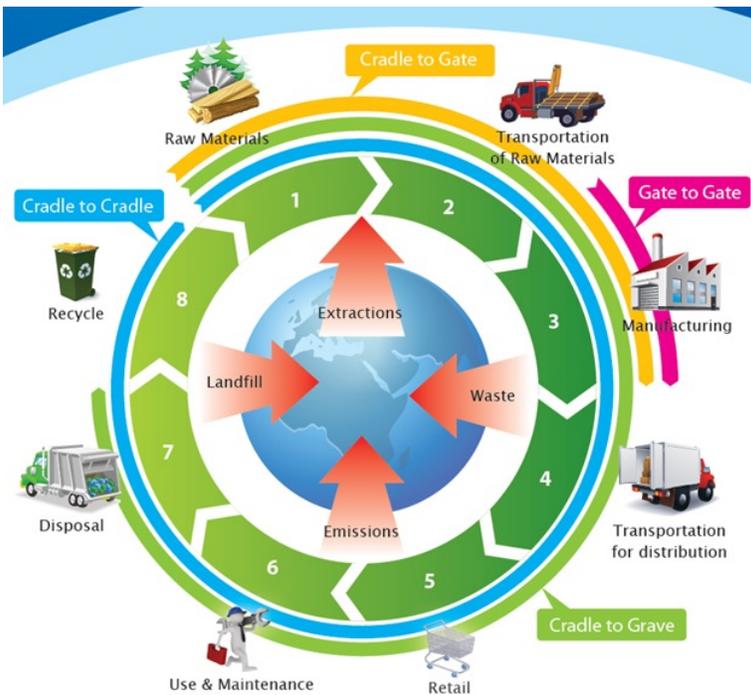


4.产业化发展和环境方面

包络分析法



包络分析法 (Enveloping Analysis) 是一种用于时间序列数据分析和异常检测的技术。它主要用于分析数据的包络线，以帮助识别数据中的潜在问题、异常或趋势。Rui Cunha 等人借助包络分析法研究分析了葡萄牙废弃建筑材料资源化行业的现状，得出政府政策导向是影响该行业发展的重要因素。



生命周期评价

生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 是一种系统的方法，用于评估产品、过程或服务在其整个生命周期中的环境影响。生命周期评价旨在量化和分析产品或服务从原材料获取、生产、使用、到处置的每一个阶段对环境的总体影响。这种方法不仅关注单一阶段的环境影响，还考虑所有阶段的综合效果，帮助制定更环保的决策。Dahlbo 等人通过生命周期评价和物质流分析等方法全面评价分析了芬兰国内的建筑废弃物管理系统在经济、环境方面的影响，提出混合废弃物对于提高建筑废弃物资源化利用率效果最佳的结论。



5.政策法规方面

建筑废弃物资源化利用

在建筑废弃物资源化利用方面，美国、日本、欧盟做的较好，尤其是德国，他们分别制定了一系列政策法规。美国针对建筑废弃物实施减量化、资源化、无害化、产业化管理，并制订了《固体垃圾处理法》，《超级基金法》，《污染预防法》等。20世纪60年代以来，日本接连制定了《再生建材使用规范》、《建筑废弃物再生促进法》、《废弃物处理法》等多部法律条文，以促进建筑废弃物资源化发展的。德国建筑废弃物的资源化利用开始较早，1972年就制定了《废物处理法》，其技术发展水平也领先世界。

建筑废弃物管理法律

在建筑废弃物管理法律效力方面，欧盟要高于其成员国和欧洲经济区。欧盟建筑废弃物管理方面的代表性政策、法规和文件如左表所示。

时间	政策法规文件	时间	政策法规文件
1975	《废物框架指令》	1999	《填埋令》
2000	《废弃物清单》	2011	《欧洲资源效率路径》
2014	《建筑业资源效率的提升》和 《通向循环经济：零废方案》	2015	《欧洲循环经济行动方案》
2016	《欧盟建筑废弃物管理草案》	2018	《废物分类技术指导》





PART 3

国内研究体系

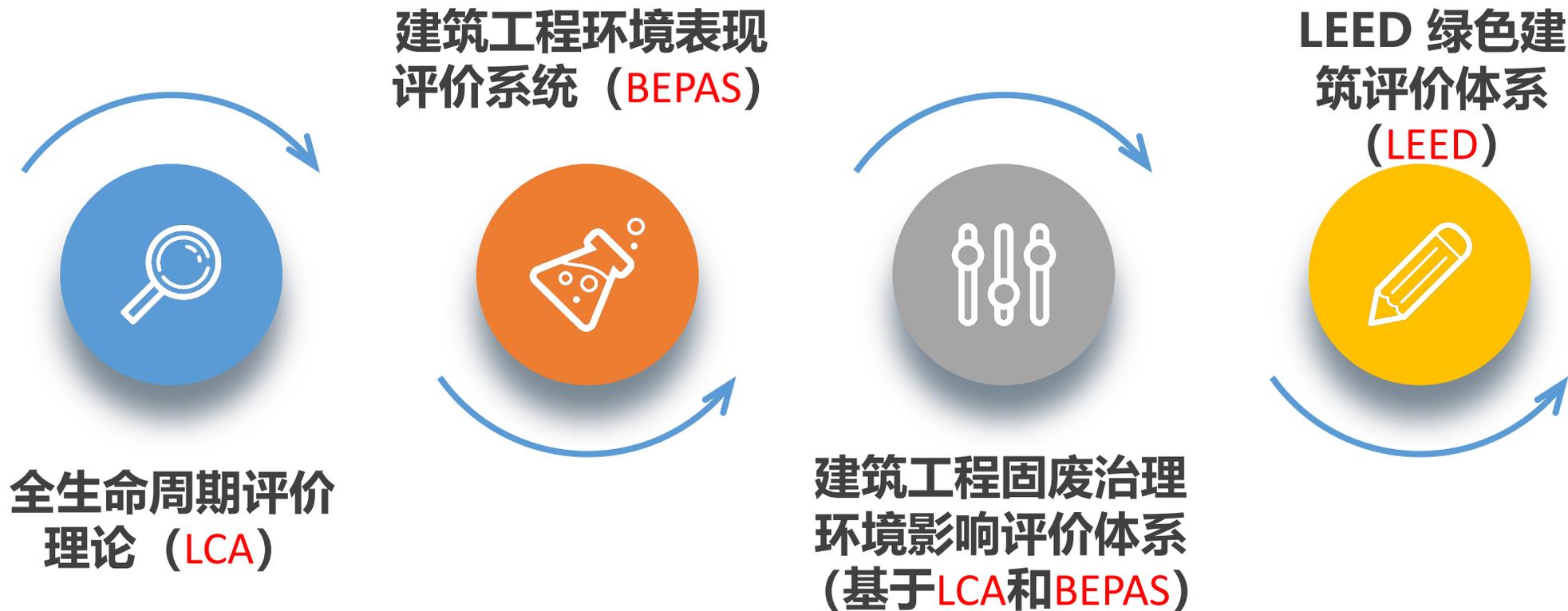
Progress of project work





国内研究现状

在建筑废弃物可持续和可循环的全过程评价体系研究方面，与发达国家相比较，我国对它的研究起步较晚，相关理论体系还未成熟，其研究主要存在以下几个方面。



全生命周期评价理论 (Life-Cycle Assessment, LCA)

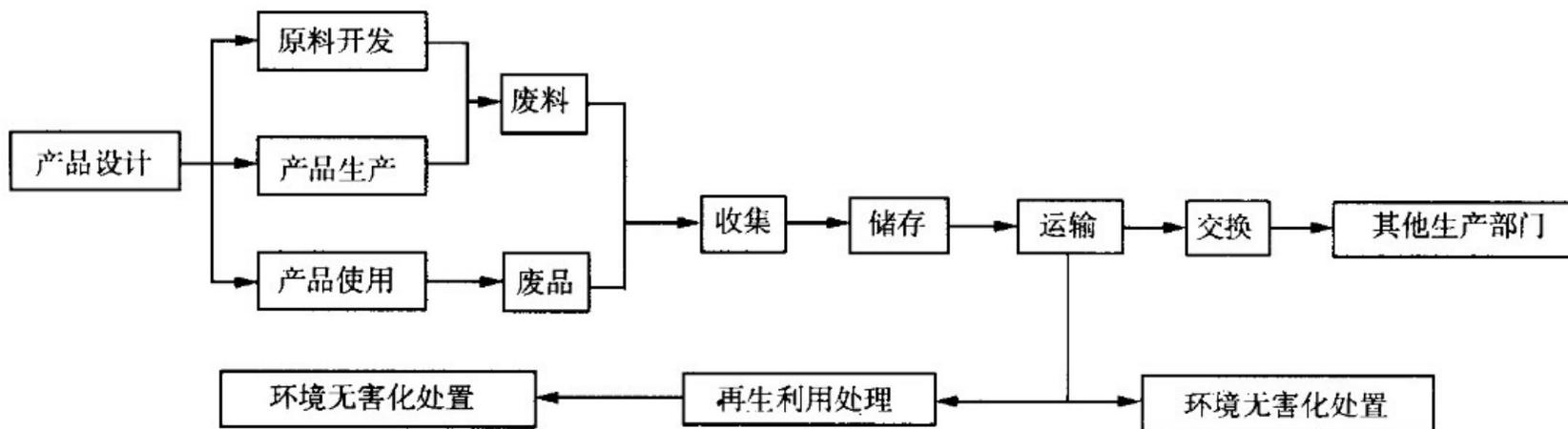
产品生命周期评价在1990年正式出现，但这种思想早在20世纪60年代就已经产生。产品生命周期评价是用于评价某一产品或服务相关的环境因素和潜在的环境影响的方法。它通过编制某一系统相关投入与产出的清单，找出与这些投入与产出有关的环境影响，进而对清单和存在的环境影响进行分析，以指导产品的开发和应用。

产品生命周期评价的主要步骤为：研究的目标及范围的界定；清单分析；生命周期影响评估；结论及改善评估。



产品生命周期评价在固体废弃物管理中的应用

生命周期评价同样可以用于固体废弃物管理,杨卫国等介绍了产品生命周期评价方法在固废管理中的应用。这为固体废弃物管理提供了一种系统、整体研究的观点,将城市固体废物管理系统的所有操作活动(工艺过程)作为一个整体进行研究,从原材料获取、产品制造、废物产生到废物收集、回收利用、焚烧、堆肥、填埋等过程。运用生命周期评价方法,对固体废弃物全过程管理可分为以下两个阶段:一个是从产品设计到废物产生的阶段;另一个是废物产生到废物最终处置的阶段,具体过程示意图见下图所示。

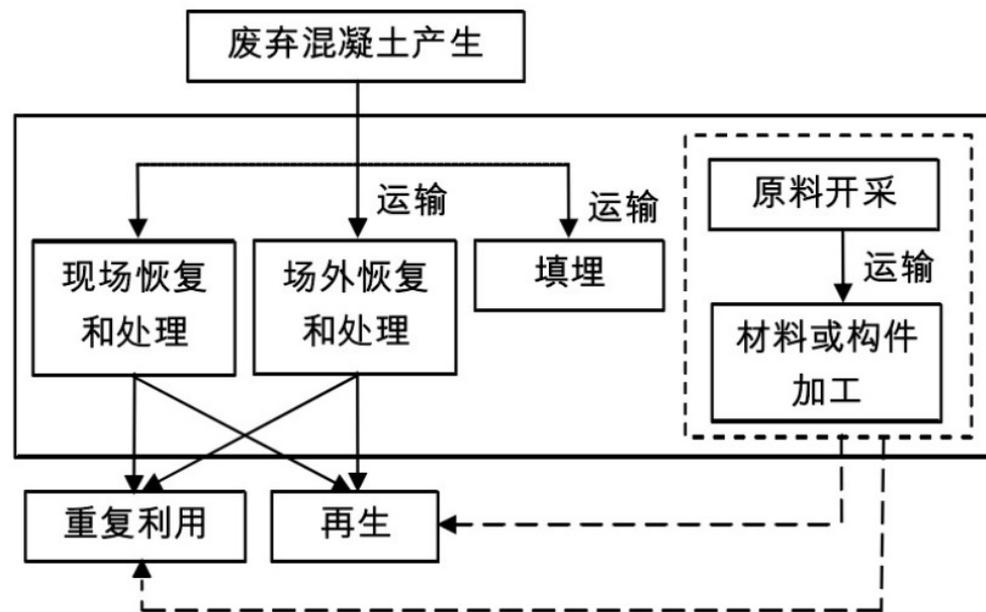


固体废物管理全过程示意图



应用研究方面

在应用研究方面，**龚志起**等采用生命周期评价方法,对废弃混凝土再生骨料利用、再生原料利用、基础填料利用和填埋四种方式的环境影响进行了核算。其中,生命周期影响评价方法采用“中点法”计算生命周期环境影响状况,并通过社会支付意愿的概念将生命周期影响状况结果转化为以货币价值表示的单一环境影响分值。结果表明:在材料替代的前提下,废弃混凝土再生骨料利用的环境影响最低,最能体现废弃混凝土的资源价值。



废弃混凝土生命周期评价的系统边界



结论

生命周期评价可以从理论上为废弃物管理提供最佳的方法和途径。采用生命周期评价的原理,通过完善法律、法规体系,加速市场化发展进程,实行抵押-返还制度,采用经济奖励手段,推行生产者责任制,加强宣传教育,广开融资渠道等具体措施,实现对固体废弃物的全过程管理。具体到不同的地区和行业,又要根据自身的特点,选择不同的管理办法。但不管采取哪种方法,都不能违背产品生命周期的基本规律,应遵循一致性原则和最优化原则。所采取的手段不能和已有的管理手段、法律手段和环境政策发生冲突,从而达到最佳的环境效益、经济效益和社会效益。



建筑工程环境表现评价系统 (Building Environmental Performance Analysis System , BEPAS)

在建设工程领域，张智慧、李小冬等已做了较深入的研究，建立了“建筑工程环境表现评价系统 (Building Environmental Performance Analysis System , BEPAS)”，该系统将建设工程划分为建材物化、施工过程、使用维护、固废治理四大评价体系。

BEPAS评价系统是在生命周期评价一般理论框架基础上,考虑建筑产品及其构成成分的生产和使用的特点而形成。包括以下3个主要模块:(1)评价范围确定模块。此模块主要用于确定评价对象的系统边界以及生命周期阶段。(2)基于单元过程的投入产出清单分析模块。清单分析是生命周期过程物质和能量流的抽象和一般化阶段。(3)环境影响评价模块。该模块是BEPAS的核心部分,又可细分为分类表征子模块和加权评估子模块。

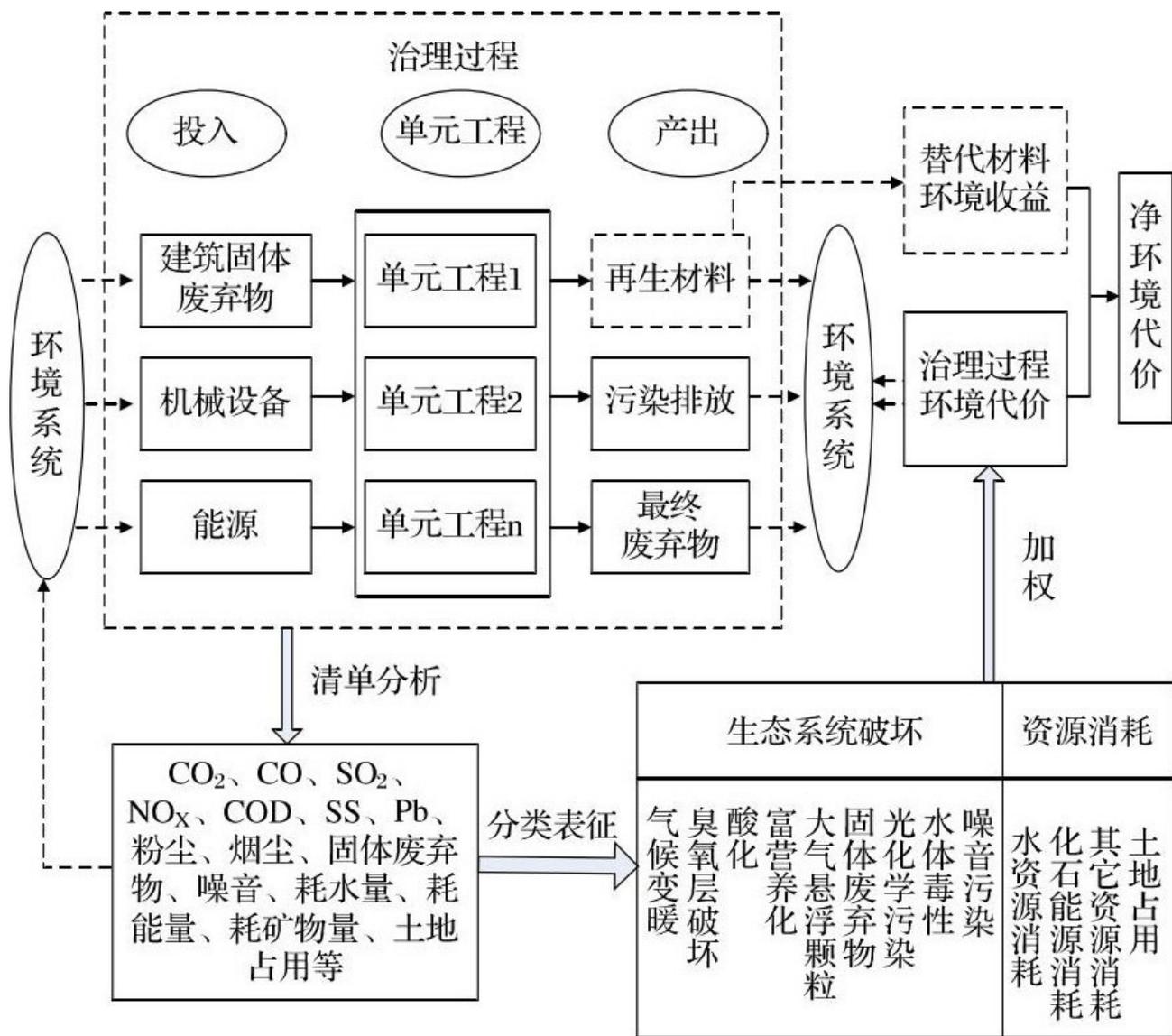


建筑工程固废治理环境影响评价体系

基于 LCA 理论和 BEPAS 体系，根据建筑固废的生命周期特征，王地春等构建了建筑固废治理的环境影响评价体系。该体系的基本评价范围包括两大部分，即治理过程的环境影响和再生材料的环境影响。治理过程的环境影响包括将建筑固废由产生地运至再生（或处理）现场、再生工艺过程以及最终废弃物填埋等三大主要单元工程所产生的环境影响，它们对环境造成不利后果，视为“环境代价”；再生材料的环境影响则是根据替代材料物化阶段即开采、运输和生产等单元过程所产生的环境影响计算，这种影响是正面的，视为“环境收益”。建筑固废治理的总环境影响可被称为“净环境代价”，其等于建筑固废治理过程的环境代价扣减替代材料物化阶段的环境收益。净环境代价为负值表示建筑固废治理对环境带来积极影响，正值则表示其对环境带来消极影响。



建筑工程固废治理环境影响评价体系





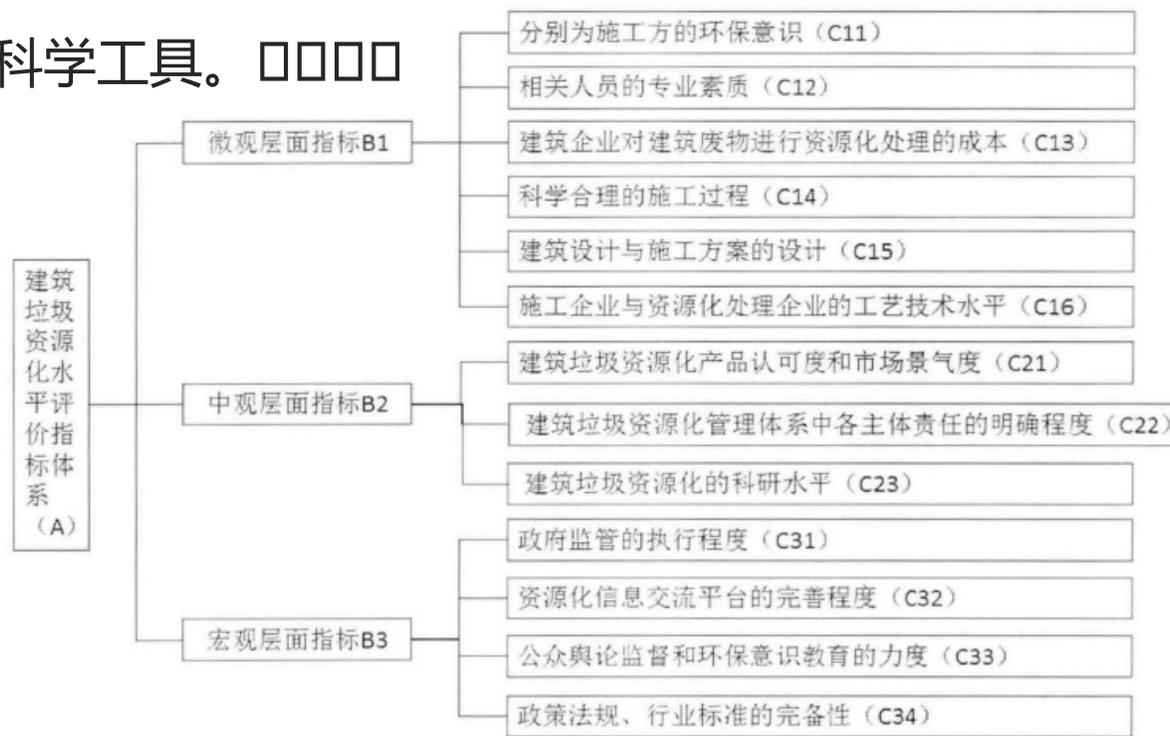
LEED 绿色建筑评价体 系

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 是一个全球广泛认可的绿色建筑评价体系，旨在促进建筑项目在环境保护和资源节约方面的表现。由美国绿色建筑委员会 (USGBC) 开发和维护，LEED体系提供了一套标准化的评估指标，用于衡量建筑物在能源效率、环境质量和资源管理等方面的综合表现。在LEED认证中，项目需要实施有效的废弃物管理策略，如废弃物分离、回收利用和减少材料使用，以获取积分。这种措施不仅减少了建筑过程中的废弃物，也促进了资源的循环利用，支持了建筑的整体可持续发展。通过这种方式，LEED体系推动了建筑行业对废弃物的有效管理和资源的优化使用。



建筑垃圾资源化发展水平评价指标体系□□

李林轩等基于前人的研究成果，结合我国建筑垃圾处理存在的问题，从理论与技术层面探讨了建筑垃圾资源化处理的可能性，同时建立了相应的指标评价体系，分析与研究了我国建筑垃圾资源化水平。首次对建筑垃圾资源化的影响因素进行了归纳整理，从公众基础、行业发展、宏观政策三个方面整理共计13个评价指标，同时运用了层次分析法，构建了与之相适应的指标评价体系，为研究与深入剖析建筑垃圾资源化发展现状提供了科学工具。□□□□





北京工业大学
BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

谢谢!
