

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2016.00365

“环境工程与循环经济：政策与技术”专栏

国际视野下的建筑废弃物管理与资源化现状

胡鸣明^{1,2,3,4}, 张纯博^{1,2}, 张倩¹

- (1. 重庆大学建设管理与房地产学院, 重庆 400045;
2. 重庆大学可持续建设国际研究中心, 重庆 400045;
3. 重庆大学建设经济与管理中心, 重庆 400045;
4. 莱顿大学环境研究院, (荷兰)莱顿 2300 RA)

摘要: 随着我国城镇化的不断推进, 在原生建材大量投入使用的时候, 建筑废弃物排放逐年增多, 使得建筑业和环境、资源之间的矛盾日益尖锐。如何妥善处理建筑废弃物已成为影响我国可持续发展进程的关键问题之一。本文从国际视野梳理了国内外建筑废弃物管理的政策制度与资源化技术的发展现状, 以期提升我国建筑废弃物资源化利用水平提供思路。

关键词: 建筑废弃物; 资源化技术; 废弃物管理

中图分类号: X799

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2016)04-0365-09

引言

随着我国经济的迅速发展, 城镇化的不断推进, 在大量原生建材投入使用的时候, 建筑废弃物与日俱增, 引起的经济、环境、社会问题不容忽视。目前, 我国的混凝土年产量已占世界总量的45%, 约13亿 m^3 ~14亿 m^3 ^[1]。《废弃物资源化科技工程十二五专项规划》指出, 2010年我国建筑垃圾产生量(含渣土)约为15.5亿吨, 占城市垃圾总量的30%~40%, 且有逐年增加的趋势^[2]。如此大的开采量和废弃量对生态环境造成极大威胁。如果对建筑废弃物进行资源化利用, 不仅可以缓解资源紧缺困境, 又能解决建筑废弃物占用土地资源和破坏生态环境的问题。例如, 从2001年起, 荷兰的建筑废弃物资源化利用率就达到了95%, 且近年来资源化技术持续创新, 产生了明显的环境效益和经济效益。我国目前建筑废弃物

的资源化利用率尚不足5%, 大量堆积的建筑渣土造成“垃圾围城”, 甚至引发了城市安全问题。2015年末发生的深圳渣土滑坡事故更为我国建筑废弃物的资源化处置敲响了警钟。本文梳理了国内外建筑废弃物管理的政策制度和资源化技术发展, 以期为我国建筑废弃物资源化水平的提高提供借鉴。

1 建筑废弃物管理政策制度

1.1 环境污染补偿制度

建筑废弃物的排放对环境造成不良影响, 但是产生者付出的代价很低, 对外部环境恶化的成本往往需要社会公众来承担。为了使排放企业承担自己的社会责任, 政府一般通过经济措施来使排放企业的外部成本内部化, 使企业自身补偿其对环境造成的影响。20世纪90年代, 西方发达

收稿日期: 2016-04-13; 修回日期: 2016-05-13

基金项目: 国家社会科学基金项目“建筑废弃物循环利用产业促进研究”(11CJY040)

作者简介: 胡鸣明(1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为建筑垃圾管理、全生命周期评价。E-mail: mingminghu@cqu.edu.cn; hu@cml.leidenuniv.nl

张纯博(1992-), 男, 硕士生, 研究方向为建筑垃圾管理。E-mail: chunbozhang@cqu.edu.cn

国家尤其是经济合作与发展组织(OECD)成员国就已经广泛地利用税收、收费、排污权交易等经济政策来限制建筑废弃物的排放, 以及对环境进行补偿^[3]。

1.1.1 排污费

排污费是最常见的一种形式, 是指向排放者收取垃圾处置场、填埋场的处理费用, 各地会针对当地的市场价格制定不同的收费标准。德国通过征收建筑垃圾处理费来减少建筑垃圾的产生, 对未处理的建筑废弃物按 500 欧元/吨的标准征收高额处理费^[4]。奥地利也对建筑废弃物收取高额的处理费, 以提高资源消耗成本^[5]。相比之下, 我国收取的排污费还比较低。我国在 1982 年的《征收排污费暂行办法》中仅对超标部分收费, 直至 2003 年《排污费征收使用管理条例》出台, 才进入了按照排污物排放量计费的收费时代^[6]。目前, 深圳特区对填埋建筑废弃物的收费标准大约是 5.88 元/吨, 香港的收费标准是 104 元(125 港币)/吨^[7], 重庆建筑废弃物填埋收费 2.5 元/吨。据统计, 2010 年全国(除西藏外)共向近 49 万户排污单位征收排污费 188 亿元^[8]。

1.1.2 环境税

经济政策解决环境问题的最新发展趋势就是以财税政策作为突破口^[3], 一些国家已经将“费”提升为了法律层次更高、更规范的“税”。环境税的概念首先由英国经济学家庇古提出, 因此也被称为“庇古税”。OECD 将环境税定义为: 以对环境具有一定负面影响的事物的实物单位(或替代物)作为税基的税种, 是一系列向对环境造成影响的事物所收的税的总称。欧盟统计局根据税基将环境税划分为能源税、交通税、污染税、资源税^[9]。国外的环境税经历了从初期的对补偿成本的收费到针对排污、能源消耗、二氧化碳排放的具体税种, 再到综合环境税制政策改革的发展历程。荷兰是 OECD 国家中较早开征环境税的国家, 其环境税属于分门别类到特定项目的小税种。如在 1997 年, 针对填埋制定了《填埋税》, 在 2011

年时, 又针对可燃烧和不可燃烧的废弃物征收分别为 108 欧元/吨和 16 欧元/吨的高额填埋税税费。波兰从 1970 年就开始设立环境税, 至今主要针对二氧化硫、氮的氧化物和含盐采煤用水三类污染物征收污染税^[3]。英国于 1996 年 10 月 1 日开始征收掩埋税, 废弃物制造者将垃圾送往回收站时需缴纳掩埋税, 而税款中相当一部分是用于废弃物管理及环境改善方面的研究与教育^[5]。我国目前还没有实行环境税, “费改税”还有待进一步的研究和探讨。

1.1.3 排放权交易

美国经济学家戴尔斯于 1968 年最先提出了排污权交易的理论, 这一理论首先被美国国家环保局(EPA)用于大气污染源及河流污染源的管理。排污权交易的主旨是, 在污染物排放总量不超过政府给定的许可排放量的前提下, 各排放者之间通过货币交换的方式相互调剂排污量, 从而达到减少总排污量、保护环境的目的。2008 年, 我国第一家综合性排放权交易机构——天津排放权交易所成立, 以温室气体和主要污染物排放权交易为主要业务进行试点运营。北京和上海随后也成立了相应的交易所。中国针对碳排放的交易试点从 2011 年开始启动, 确定了七个省市作为试点地区并建立碳排放交易所。对建筑废弃物采取不同的处置方式会导致不同的碳排放。作者所在课题组对重庆市 1 吨建筑废弃物的不同处置途径进行全生命周期评价后发现, 采用填埋进行非资源化处置的环境影响为 24.9 kg CO₂eq, 而进行再生砖生产的资源化处置的环境影响仅为 11.3 kg CO₂eq。龚志起以 1 吨废弃物混凝土为功能单位, 对其 4 种处置方式的全生命周期环境影响采用“社会支付意愿”进行货币量化后发现, 填埋的环境影响为 61.68 元/吨, 基础填料为 4.94 元/吨, 再生原料为 5.75 元/吨, 制作混凝土骨料为 8.98 元/吨^[10]。对建筑废弃物管理而言, 实行排放权交易会限制建筑废弃物进入填埋场, 并促使建筑废弃物向低排放的资源化方式流转。

1.2 建筑废弃物的分类登记与链式管理制度

最早进行废弃物分类、登记的是荷兰以及欧盟成员国。早在1997年,为了避免有害废弃物对可回收利用的废弃物造成影响,荷兰住房、空间规划及环境部(VROM)就专门颁布了《有害废弃物定义法规》来区分有害废弃物和无害废弃物。随后荷兰颁布了《有害废弃物清单》、《无害废弃物清单》对废弃物进行分类、统计。后来,这些分类清单被欧盟发布的《废弃物清单》(European List of Waste, LOW)所取代,LOW为欧盟成员国废弃物的分类、统计提供了统一的分类和数字代码。

2003年,VROM颁布了一项废弃物链式管理政策——“国家废弃物管理计划2002-2012”(LAP),对废弃物在“有害废弃物”和“无害废弃物”两个大类下进行分类和统计,对废弃物从产生到最终处置地进行全程跟踪,对废弃物的流向进行全过程管理。为了使LAP更清晰和完整,VROM在2008年颁布了第二项废弃物链式管理政策——“国家废弃物管理计划2009-2021”(LAP2),在LAP的基础上,LAP2对废弃物管理的范围由“废物链”扩大到了“物质链”,即针对材料的全生命周期,在废弃物材料还是建筑原材料时就对其进行管理^[11]。

这个所谓的“链”不只是在荷兰内部,而是将欧盟的各个成员国链接起来形成了一个建筑废弃物管理的战略联盟,对跨越国界的废弃物进行链式管理。如针对有些欧盟成员国国家处置能力有限或者填埋场填埋饱和、而有些国家处置能力过剩的情况,欧盟于2006年颁布了《欧盟废弃物运输》(EC)1013/2006,规定了欧盟成员国之间废弃物进口和出口的具体实施规则,LOW也是该项法规中的重要组成部分。例如,在荷兰,国内产生、处置和运输废弃物均需经过一个登记部门LMA,LMA就是采用LOW为荷兰的废弃物进行登记^[12],记录废弃物从分类拣选到最终使用的全过程。如果是荷兰向外出口废弃物,则经由EVOA

管理,EVOA是荷兰管理欧盟废弃物出口的机构,这一机构促使成员国之间进行废弃物管理的合作与交流,分享相关数据、技术和合适的废弃物清单编码等^[11]。

1.3 建筑废弃物利用层级制度

1975年,欧盟的《废弃物架构指令》(Waste Framework Directive 1975/442/EEC)首次将“废弃物利用层级”的概念引入到欧洲各国废弃物管理的政策中,以指导垃圾回收的利用顺序^[13]。2008年,欧盟议会颁布了五级“废弃物层级利用制度”(Directive 2008/98/EC),如图1a所示,并且规定其成员国必须将其引进到本国的废弃物管理法中。随后一些学者和研究机构对其进行了细化和补充,图1b为荷兰代尔夫特理工大学改进的利用层级^[14]。下文对5个利用层级进行简要说明:

1) 预防

层级利用图的内容与循环经济遵循减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再循环(Recycle)的“3R”原则具有相类似的本质含义。处置方式在废物利用层级图的位置越高,优先级越高,越值得被提倡。层级制度强调控制废弃物产生的源头,防治垃圾的产生是各国最优先选择的措施。英国政府建立了碎石料咨询机构(AAS),鼓励企业生产过程中实现垃圾的减量化^[15]。在荷兰等欧洲国家,为便于回收拆除阶段的建筑废弃物而进行的DFR(Design for Recycling)设计也是预防的有效途径^[16]。

2) 再利用

再利用也是值得被提倡的方式,实践中对家居住宅内部物件、器具的再利用很常见。但是对建筑结构模板的再利用因限制条件太多,很少被赋予实践,后文会作详细叙述。

3) 资源化

与再利用相比,建筑废弃物的资源化得到了更为广泛的认可和运用。资源化本身也有优先层级,循环经济理论将资源化分为原级资源化和次

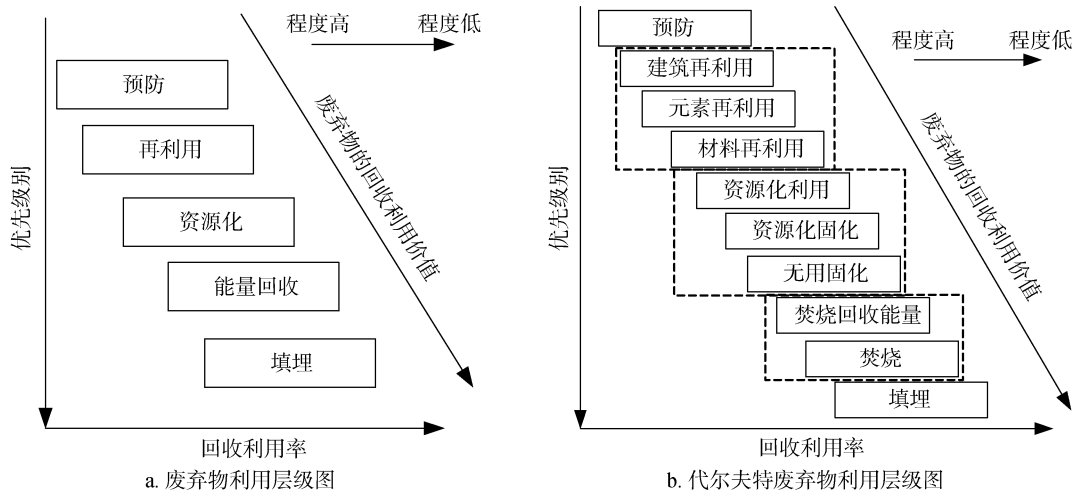


图1 废弃物利用层级

级资源化两种。原级资源化是将遗弃的废弃物资源化后形成与原来相同的新产品；次级资源化是将废弃物变成不同类型的新产品。原级资源化的废弃物利用率较高,在形成产品中可以减少 20%~50% 的原生材料使用量,而次级资源化减少的原生物质使用量最多只有 25%^[17],所以原级资源化也是各国政府推崇的形式和积极引导的发展方向。

4) 能量回收

建筑废弃物绝大多数是惰性废弃物,不能靠堆肥进行能量回收。少量纸片、木材、塑料可通过焚烧产生电能。

5) 填埋

填埋处于层级利用的底端,是最不可取的途

径。由上述得知,一些国家通过税费施加经济压力来削弱进入填埋场的废物流,有的国家限制甚至禁止填埋。1991 年日本政府制定了《资源重新利用促进法》,规定建筑施工过程中产生的混凝土块、沥青混凝土块等建筑垃圾,必须进行资源化处理^[18]。1997 年,荷兰颁布《禁埋令》,规定能够再利用、可以资源化,以及能够焚烧发电的 32 种废弃物禁止填埋^[19]。

图 2 为层级利用下的建筑生命周期与材料生命周期的关系。

2 建筑废弃物资源化技术

在建筑废弃物中,废弃物混凝土、废弃砖瓦

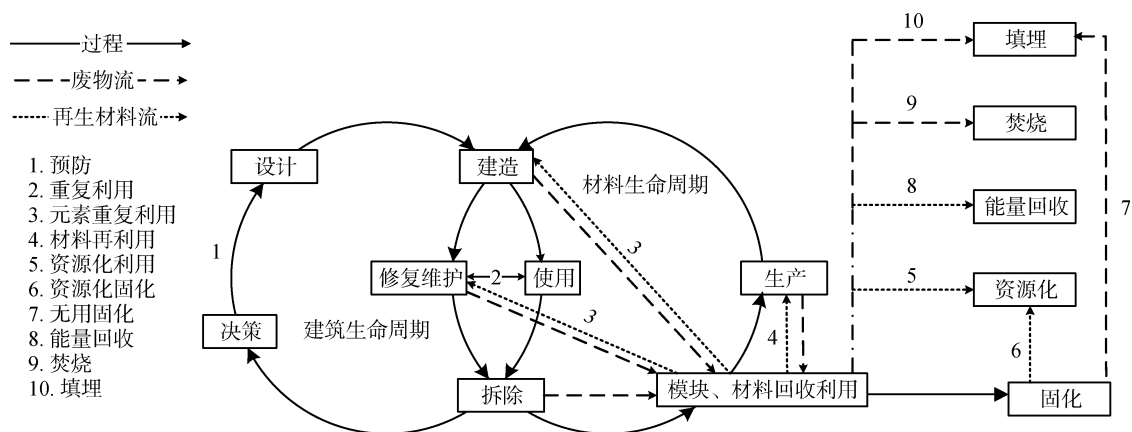


图2 层级利用下的建筑周期和材料流转

注: 图片翻译、修改自文献[20]。

等石料类惰性固体废弃物占建筑垃圾的 55%~65%^[21]。据不完全统计，目前我国每年产生的废弃混凝土已达 1~2 亿吨^[22]。本文讨论的资源化技术主要是针对废弃混凝土(以及废弃混凝土中夹杂的砖、瓦等石料类废弃物)。废弃混凝土是建筑废弃物中的最大构成部分，也是资源化附加值最

高的部分。对废弃混凝土资源化技术的突破能极大地促进和带动整个建筑废弃物资源化的发展。

废弃混凝土的处置途径有三种，分别为：填埋、弃置甚至非法倾倒等非资源化途径，直接再利用和作为再生原料的次级资源化途径，以及生产再生混凝土的原级资源化途径，如表 1 所示。

表 1 废弃混凝土资源化技术路径

技术路径	特点	最终产品
填埋	处置成本最低，对环境影响大，资源没有得到有效利用。	—
直接再利用	处置成本较低，理论上是最理想的回收利用途径，但现实情况中很少见。	用于建筑工程中的结构模块
再生原料	处置成本较高，对废弃物的利用率较高。	道路工程中的再生无机料；新型再生砖类制品
混凝土原料	处置的成本最高，对废弃物的利用率最高。	高性能再生混凝土（用于结构）

2.1 拆除

拆除是资源化前产生建筑废弃物的环节，虽然不属于资源化的过程，但对接下来的资源化流程有重要的影响。

国内拆除大型混凝土结构的方法主要有三种：爆破法、重锤破碎法和钻孔法^[23]。炸药爆破和重锤冲击会制造大量的粉尘和噪音，而钻孔开口的效率则过低。并且，面对待拆建筑物已无用的既定事实，三者均为采取追求速度、节约成本的直接“拆毁”形式^[24]，使得混凝土遭到破坏或含有大量的杂质，难以进行进一步的资源化。

一些西方发达国家，为了避免回收利用的废

弃混凝土中杂质过多，进行了“选择性拆除”(Selective Demolition)。所谓的“选择性拆除”是指在建筑物拆除的过程中按照建筑物的设计结构进行拆除，拆除过程中尽量不破坏建材。在拆除阶段，具体的方式分为两种^[25]：一是“High-reach”法，又称“荷兰法”，由地面拆除机伸出机械长臂进行拆除，如图 3a、图 3b 所示；另一种是“Top-down”法，又称“日本法”，由起重机运送拆除机进行拆除并运输废弃物，如图 3c 所示。两种方法都能产生洁净的混凝土骨料。

将拆除后的废弃物按不同的类型以及是否能回收进行分类，进而收集到施工现场堆放处暂时



图 3 选择性拆除

图片来源：a、d 源于文献[26]，b、c 源于文献[25]

储存,如图 3d 所示。选择性拆除废弃物流转如图 4 所示,在现场分类完毕后,废弃混凝土中的木块、玻璃、钢筋等杂质,以及废弃混凝土中不可回收的部分(如重金属污染部分、有机溶液污染部分)被分离出来,剩余的废弃混凝土块被当作原料运送到资源化中心进行综合加工。因为事先对杂物进行了分离,后期再生产品的品质能够得

到较大的提升。

但是,选择性拆除的实施会受到空间和目标成本的制约。进行选择性拆除必须有足够的闲置场地对分选的废弃物进行分类和暂时储存,如果需要进行现场回收利用则需要更多的空余场地。选择性拆除比普通拆除方式流程更复杂,会增加新的人工费、机械使用费,无疑会造成拆除单位成本的增加。

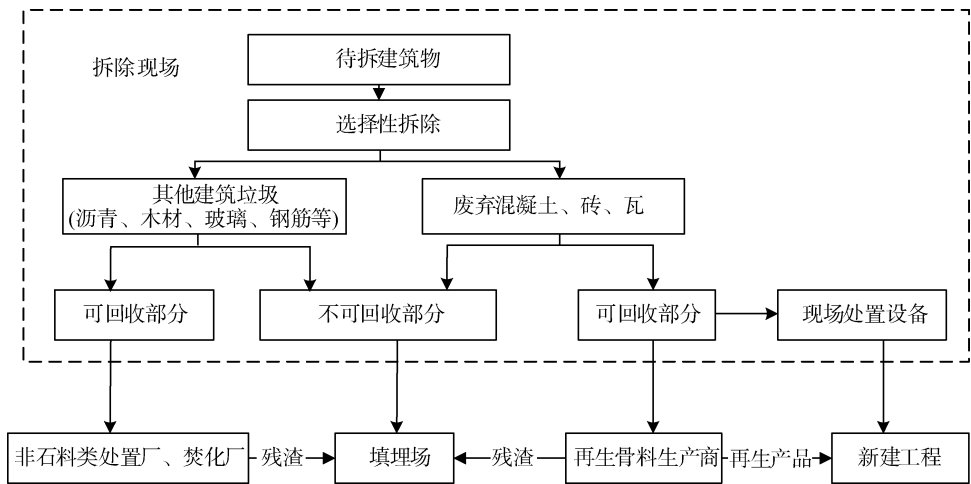


图 4 选择性拆除下建筑废弃物资源化的材料流转

在荷兰,进行选择性拆除之前还会进行有害物移除和拆解(Dismantling)两个过程^[25]。有害物的移除主要针对石棉这种材料,石棉会导致肺癌,因此,荷兰政府强制规定在拆除过程中对石棉进行回收,并由拥有执业许可证的工人和企业对其进行移除、运输、处置。对石棉进行分离之后,拆解工人和机械师将对建筑内的空调、地毯、窗玻璃、盥洗设施、排水管、照明灯具、石膏板、电缆进行无伤拆解,这些物品将被专门收集建筑二手用品的商家进行收购,然后在市场上进行售卖,实现元素的重复利用。

2.2 模块的重复利用

模块重复利用指的是在施工拆除现场中,形状完整、力学性能未受破坏的混凝土构件或制品,直接或经分析后降低等级被重复利用在工程中。道路防护工程中,将可以利用的废弃混凝土块进行切割、打磨后用于砌筑边坡、边沟、排水沟。在公共景观

工程中,对废弃混凝土筛选处理后,可对其进行胶结和表面喷砂,做成假山景观工程,工艺简单,难度较小^[27]。目前,德国开始了一种叫做“元素回收(Elemental Recycling)”混凝土模板重复利用革新技术的应用研究。一种名为“Plattenbau”的大型预制混凝土公寓建筑在拆毁后,其中的混凝土板块可作为“元素”应用于新的住宅建筑中,对“Plattenbau”的“元素”重复利用比重新建造一个类似的建筑物节省了30%~40%的费用^[28]。

但是,在工程实际建设中,混凝土构件或制品的重复利用并没有得到普及,甚至可以说极其罕见。这是因为^[29]:梁、柱、楼板这类混凝土部件是为了承受特定的荷载而设计的,运用到其他工程中几乎不可能;现浇结构中,由于是整体浇筑的缘故,采用物理分割相当困难;钢筋混凝土由于断面的尺寸问题,再利用不可行;有些废弃混凝土的体积过大,无法进行运输。

表2 “Plattenbau”公寓的重复利用过程

	预拆除阶段	拆除与收集阶段	建造与重构阶段	
			室内	室外
图例				

图片来源：Jan Otakar Fischer，Cut And Paste，Architecture，2006（6）

2.3 再生原料

此处的再生原料是指除了用于制作混凝土的再生骨料和再生水泥之外的其他再生产品，如建筑废弃物除杂、破碎、筛分后作为路基回填料或是用于制作再生砖、砌块。生产再生原料是一种次级资源化的回收利用方式。

利用建筑废弃物生产回填料工艺简单、处置成本低廉，是应用最广泛的途径之一。我国将建筑废弃物用于水泥混凝土路面维修、养护、再生建筑工程的措施主要是，现场粉碎或破碎现有路面，再将粉碎或破碎后的材料用作新道路结构中的基层或底基层，这种做法在我国公路养护维修中得以普遍采用^[30]。除了作为回填料，我国也有将废弃混凝土作为建筑渣土桩填料和复合载体桩，用来加固软土地基的情况^[27]。《中国建筑垃圾资源产业化（2014年度）发展报告》指出，我国当前约有20多家相对专业的企业进行建筑垃圾的再利用，再生砖是我国建筑废弃物资源化的主要形式，但产量不高，质量尚不稳定，应用工程有限。国外也有对建筑废弃物进行加工再生原料的实践。荷兰的废弃混凝土利用率高达100%，其中97%经过破碎后作为路基垫层骨料使用^[31]。美国现在已有超过20个州在公路建设中采用再生骨料，26个州允许将再生骨料作为基层材料，4个州允许将再生骨料作为底基层材料^[18]。法国利用废弃的混凝土碎石和碎砖块生产出了砖石混凝土砌块^[32]。

2.4 再生混凝土原料

建筑废弃物生产混凝土原料用于建筑结构是一种高附加值的原级资源化方式。传统再生混凝土骨料生产技术是对建筑废弃物进行分选、破碎、除杂、筛分、清洗等过程后得到混凝土骨料。为了降低混凝土骨料生产成本、提高再生骨料的质量、全组分地利用建筑废弃物进行再生骨料和再生水泥的生产，一些先进的技术方法已经应运而生。

2.4.1 热处理

热处置是一种新兴的建筑废弃物处置方法，通过高温使硬化水泥和石料分离。日本东京电力公司与清水建设公司一同研发了废弃混凝土砂浆、骨料的热分离技术，该技术先将混凝土破碎成小于40mm的颗粒，后在300℃温度下进行热处理。然后，在特殊机械作用下使这些废料自碾磨，使水泥砂浆从骨料的分离出来，得到洁净的混凝土再生骨料^[33]。韩国“利福姆系统”公司把废弃混凝土中的水泥与石子、钢筋等分离，然后在700℃的高温下对水泥进行热处理，甚至能生产出比普通水泥性能更好的再生水泥^[33]。

2.4.2 C2CA技术体系

C2CA（www.c2ca.eu）是一个欧洲建筑废弃物回收技术研究项目，意在低成本地分离出洁净的再生骨料和水泥微粉以用于混凝土的生产。C2CA技术包括^[34]：

1) 优化拆解和拆除过程，从而产生杂质较少

的废弃混凝土, 确保待回收混凝土的纯净度。荷兰常规的选择性拆解能在拆除前去除废弃混凝土中 80%~85% 的塑料、木屑、钢筋的杂质, 而精心规划的智慧拆解 (Smart Dismantling) 能将杂质去除比例提升到 90%~95%^[25];

2) 先进的现场废弃混凝土回收技术——高级干法回收系统 (Advanced Dry Recycling), 可实现混凝土现场回收, 省去了混凝土外运的费用和湿法处理的水洗过程, 不仅简化了处置流程, 也没有泥浆副产品, 节约了处置成本;

3) 研发在线传感器技术, 拟用于再生骨料、粉料的质量监控。

2.4.3 智能破碎技术

智能破碎 (Smart crushing) 是荷兰 Schenk 混凝土咨询公司研发的现场废弃混凝土回收利用技术。和传统先通过设备去除将被破碎的混凝土块中的杂质不同的是, 该方法根据砂、碎石和硬化水泥的抗压能力不同, 设计输出一个确定应力, 以破碎和碾磨的方式将废弃混凝土破碎成为一个确定的粒径, 并分离出砂、碎石和硬化水泥, 从而尽可能地减小对它们的破坏^[35]。

3 结论

本文对国内外建筑废弃物管理的政策制度和资源化的技术发展现状进行了简要的介绍。政策制度方面, 从污染补偿制度、分类登记和链式管理制度、层级利用制度三方面进行了解读。资源化利用的技术方面, 从国外的拆除技术、模块重复利用、制作再生原料和混凝土原料方面进行了介绍。希望帮助我国建筑废弃物政策制度的制定和资源化技术的升级拓宽视野和提供新的思路。

参考文献

- [1] 舒杰. 我国废弃混凝土再生利用研究[J]. 上海建材, 2010(2): 37-38.
- [2] 科技部, 发展改革委, 工业和信息化部, 环境保护部, 住房城乡建设部, 商务部, 中科院. 废物资源化科技工程“十二五”专项规划[R]. 2012.
- [3] 王哲林. 环境税的国际比较及借鉴[J]. 税务研究, 2007(07): 78-82.
- [4] 张晓华, 孟云芳, 任杰. 浅析国内外再生骨料混凝土现状及发展趋势[J]. 混凝土, 2013(07): 80-83.
- [5] 孙继成. 国外发达国家再生骨料应用对我国的启示[Z]. 中国黑龙江哈尔滨: 2015.
- [6] 王琳. 环境税开征的效应分析和政策建议[D]. 厦门大学, 2014.
- [7] Yuan H P, Hao J L. Implementing of Construction Waste Reduction Strategies in Shenzhen[C]. The CRIOCM2008 international symposium on advancement of construction management and real estate, 2008: 361-366.
- [8] 杨志勇, 何代欣. 公共政策视角下的环境税[J]. 税务研究, 2011(07): 29-32.
- [9] 苏明. 中国环境税改革问题研究[J]. 当代经济管理, 2014(11): 1-18.
- [10] 龚志起, 丁锐, 陈柏昆. 废弃混凝土处理方式的环境影响比较[J]. 工程管理学报, 2011(03): 266-270.
- [11] Ministry of VROM. National Waste Management 2009 - 2021 (LAP)[EB/OL]. [2008-12-8]. <http://www.lap2.nl>.
- [12] Mulders L. High Quality Recycling of Construction and Demolition Waste in the Netherlands[D]. Utrecht University, 2013.
- [13] European Commission. “EU Waste Legislation”[S]. Archived from the original on March 12, 2014.
- [14] Hendriks C H F, Janssen G M T. Construction and Demolition Waste: General Process Aspects[J]. Heron, 2001, 46(2): 70-87.
- [15] 蒿奕颖, 康健. 从中英比较调查我国建筑垃圾减量化设计的现状及潜力[J]. 建筑科学, 2010(06): 4-9.
- [16] 4413INTPGY Interdisciplinary Project Group. Closed-Loop Economy: Case of Concrete in the Netherlands[R]. Leiden: Leiden University, Delft: Delft University of Technology, 2015.
- [17] 魏璟璟. 全组分废弃混凝土制备再生水泥的试验研究[D]. 大连理工大学, 2011.
- [18] 叶静辉, 张丽兰, 唐晓春, 等. 再生混凝土技术研究发展现状[J]. 中外公路, 2008(05): 232-234.
- [19] Scharff H. Landfill Reduction Experience in The Netherlands[J]. Waste Management, 2014, 34(11): 2218-2224.
- [20] Dorsthorst B J H. Building Materials for ‘X’ Life Times[R]. // In Proceedings Integrated Life-Cycle Design of Materials and Structures. RILEM pro 14, Helsinki, Finland, 2000.
- [21] 张孟雄, 张学良, 王卫秋, 等. 建筑垃圾砖的开发及应用[J]. 砖瓦世界, 2006(08): 19-21.
- [22] 肖建庄, 张洁. 上海市废弃混凝土来源与回收前景[J].

- 粉煤灰, 2006, 18(3): 41-43.
- [23] 王帅. 商品混凝土生命周期环境影响评价研究[D]. 清华大学, 2009.
- [24] 贡小雷. 建筑拆解及材料再利用技术研究[D]. 天津大学, 2010.
- [25] Mingming Hu, René Kleijn. A Quantified Assessment of Economics, Potential Environmental and Social Impacts of Scenarios[R]. Leiden: Leiden University, 2013.
- [26] 选择性拆除作业[J]. 建筑机械, 2010(12): 28-29.
- [27] 石发恩, 朱萌萌, 柯瑞华, 等. 废弃混凝土资源化研究进展[J]. 有色金属科学与工程, 2014(6): 120-124.
- [28] 张娟. 建筑材料资源保护与再利用技术策略研究[D]. 天津大学, 2008.
- [29] Purnell P, Dunster A. 20 - Recycling of concrete A2 - Goodship, Vanessa[M]. // Management, Recycling and Reuse of Waste Composites. Woodhead Publishing, 2010, 569-591.
- [30] 李刚. 城市建筑垃圾资源化研究[D]. 长安大学, 2009.
- [31] Mingming Hu. Fates of end-of-life concrete and their economic implications[C]. [2012] http://www.c2ca.eu/custom/page/page_block/icsw2012c2cacdwcost.pdf
- [32] 杜婷, 李惠强, 吴贤国. 再生混凝土的研究现状和存在问题[J]. 建筑技术, 2003, 34(2): 133-134.
- [33] 陈永刚, 曹贝贝. 再生混凝土国内外发展动态[J]. 国外建材科技, 2004(03): 4-6.
- [34] CORDIS. Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition waste[N]. [2013-5-20], http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=NEW_RESU_TM&ACTION=D&RCN=54373.
- [35] Zuokui N. Thermal Treatment of Recycled Concrete Fines[D]. Eindhoven University of Technology, 2012.

Present Status of Construction and Demolition Waste Management and Recycling from the International Perspective

Hu Mingming^{1,2,3,4}, Zhang Chunbo^{1,2}, Zhang Qian¹

(1. school of Construction Management and Real Estate, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

2. International Research Center for Sustainable Built Environment, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

3. Chongqing University Center for Construction Economics and Management, Chongqing University, Chongqing 400045, China;

4. Institute of Environmental Sciences, Leiden University, 2300 RA Leiden, The Netherlands)

Abstract: The on-going rapid urbanization in China leads to large amount of raw materials input and the increasing discharge of construction and demolition waste (CDW). How to deal with the CDW properly has become a critical issue for China's sustainable development. From an international perspective, the paper summarizes the present status of CDW management policy systems and recycling technologies as an inspiration to improve the recycling of the CDW in China.

Keywords: construction and demolition waste; recycling technology; waste management