上海世博园区建筑废弃物资源化利用技术研究

Research on the Recycling Utilization of Construction and Demolition Waste(C&DW) of Shanghai Expo Park

张青萍 / ZHANG Qing-ping
李婷婷 / LI Ting-ting
徐　英 / XU Ying

摘　要： 上海世博绿地建设注重建筑废弃物资源化利用，施行建筑废弃物源头削减策略。通过对园区建筑废弃物进行充分调查与分析，根据调查结果采用物流平衡方法，使产生的建筑废弃物能较好地满足建设施工对建筑垃圾的需求，减少暂存和运输。最后遵循建筑废弃物的“减量化、无害化、资源化”的原则，借鉴发达国家经验，通过运用新技术、新模式对世博园区产生的建筑垃圾进行一定的加工处理，生产符合园区内基础设施建设需求的再生产品，与基建项目的土建材料需求进行匹配，确保了世博会园区内产生的建筑垃圾得到最大化的利用，有效节约了项目成本。

关 键 词： 风景园林；上海世博园区；建筑废弃物；资源化利用；再利用技术
文章编号： 1000-6664(2011)03-0009-05
中图分类号： TU 986　　**文献标志码：** A
收稿日期： 2010-01-24；　**修回日期：** 2011-02-14
基金项目： 上海市绿化和市容管理局科学技术攻关项目“中国2010上海世博会绿地规划设计与核心生态技术研究”(编号F080204)资助

Abstract: The paper focused on recycling utilization of construction garbage during Expo green space construction and implemented source reduction strategy. Based on sufficient investigation and analysis of C&DW, according to the survey results logistics balance method was adopted, which could make generated C&DW better satisfy the need of construction garbage during building operation, and then could reduce the quantity of temporary storage and transportation C&DW. Finally following "reduction, harmlessness and recycling" principles and learning experience from developed countries, new technology and model were applied to process generated C&DW, thus recycled products which were accorded with the demand of infrastructure construction in Expo Park were produced and matched with the need of building materials for capital project. At last it ensured maximizing use of C&DW produced from Expo Park and effectively saved the project cost.

Key words: landscape architecture; Shanghai Expo Park; construction and demolition waste (C&DW); resource utilization; recycling technology

建筑废弃物具有数量大、组成成分种类多、性质复杂、污染环境的途径多、污染形势复杂等特点，巨量的建筑废弃物除处理费用惊人外，还需要占用大量的空地存放，污染环境，浪费耕地，成为城市的一大公害，由此引发的环境问题也十分突出。并且随着建筑业的发展，建筑废弃物的量会越来越大，因此如何处理建筑废弃物的问题将更趋严峻。

建筑废弃物中的许多废弃物经过分拣、剔除或粉碎后，大多可作为再生资源重新利用。综合利用建筑废弃物是节约资源、保护生态的有效途径。在这方面，日本、美国、荷兰等发达国家做了大量的工作，取得了较好的成果，给我们提供了许多先进的经验和处理方法。在日本政府部门的专题报告中，已将“建筑废弃物”正名为“建筑副产品”，这是一个极其重要的认识飞跃[1]。根据日本建设省的统计，2000年建筑废弃物资源再利用率达80%[2]，而目前则高达98%[3]。在美国，利用现场再生技术或集料厂再生技术对路面重建项目中现有水泥混凝土路面材料进行再生利用，并广泛应用于高速公路施工中，近50%道路混凝土为回收废弃物后的再生混凝土，并有不少建筑公司采用回收的废弃物建造房屋[3]。在荷兰，每年的建筑废弃物约占全国固体废弃物总量的26%，荷兰政府单位对于建筑废弃物的回收再利用，超过90%的废弃混凝土块都用于道路底层的填充材料与填海造陆工程[4]。

长期以来，我国广大地区对建筑废弃物再利用没有足够重视，除了对拆除建筑废弃物中尚完整的砖、门窗、钢材等加以简单回收利用外，对于其余的以混凝土块、碎砖块、砂浆块为主的绝大部分建筑废弃物却采取了露天堆放或填埋的方式处理。目前我国建筑废弃物的现状已经相当严峻，城市垃圾堆填区的建设速度难以跟上垃圾的增长速度，城市正面临垃圾围城的窘境，垃圾污染日益严重，已经成为我国政府高度重视和致力解决的重大社会问题之一。然而，值得欣喜的是，现今我国也开始高度重视这些问题，近年来上海和北京等地的一些大建筑公司已经对建筑废弃物的回收利用做了一些有益的尝试。

世博园区原是上海重工业分布的城市旧区，也是城市滨水中心区，区域内大型企业有100多年历史的江南造船厂、爱德华造船厂、上海钢铁三厂、港口机械厂和上海溶剂厂等。根据世博园区基础设施项目建设施工计

万方数据

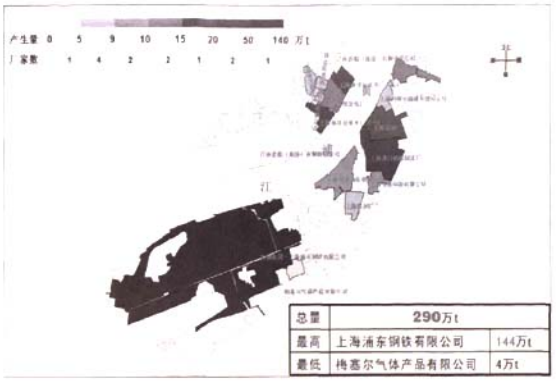


图1 建筑垃圾总产生量分布图

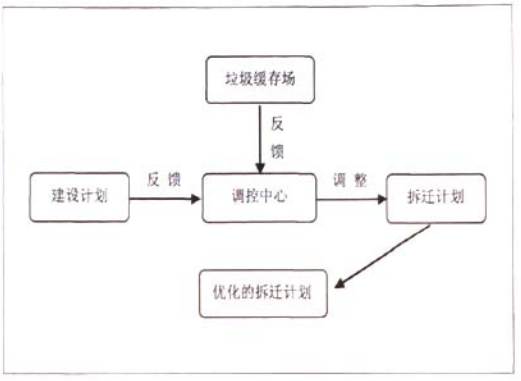


图2 建筑垃圾再生利用物流平衡方法

划，在世博园区范围内大量的旧建筑需要拆除，短时间内将会产生体量庞大的建筑垃圾。同时，随着世博会道路交通、市政设施、绿地广场、主要场馆等基础设施的开工建设，必然需要大量的标高回填土方、路基用再生混凝土骨料、铺地砖及砌块等墙体材料。因此，在世博绿地建设中应做好废弃物的循环再利用，通过对园区建筑废弃物进行的充分调查与分析，根据调查结果决定采用物流平衡方法，使产生的建筑废弃物能较好地满足建设施工对建筑垃圾的需求，减少暂存和运输。最后遵循建筑废弃物的“减量化、无害化、资源化”的原则，借鉴发达国家经验，通过运用新技术、新模式对世博园区产生的建筑垃圾进行一定的加工处理，生产符合园区内基础设施建设需求的再生产品，与基建项目的土建材料需求进行匹配，确保了世博会园区内产生的建筑垃圾得到最大化的利用，有效节约了项目成本。

1 世博园建筑废弃物调查与分析

1.1 调查内容

将园区内上海浦东钢铁有限公司等13家主要企业确定为主要调查对象，对于建筑废弃物现状的调研和估算主要包括世博会园区内拆迁建筑物状况，如建筑面积、绿化面积、建筑物结构以及可能历史污染等问题的现场调研，以及建筑垃圾的组成成分和各类拆迁建筑垃圾产生量的估算。具体调查项目包括以下4个方面：

1)各厂分类建筑面积：包括构筑物建筑面积，绿化面积和道路面积；

2)各厂构筑物的拆迁产生的建筑垃圾量：包括总产生量和各类产量；

3)各厂拆迁建筑垃圾的潜在污染情况调查及可能受污染的拆迁建筑垃圾产生量；

4)世博园中心区企业总体拆迁建筑垃圾分布状况。

1.2 建筑废弃物总量及其分布

1.2.1 废弃物产生量

根据统计汇总，13家主要企业总占地面积320万m^2，总建筑面积140万m^2，总道路面积210万m^2，总绿地面积13万m^2，总围墙长度45 000m，构筑物产生垃圾量220万t，围墙产生垃圾总量7万t，道路产生垃圾总量66万t，拆迁建筑垃圾总量290万t。

依据建筑垃圾可能的资源化途径，将拆迁建筑垃圾中处理或利用方式相似的项进行合并，由此将拆迁建筑垃圾分为：废钢、废混凝土砂石(水泥、石灰、砂、砾石)、废玻璃、废砖块和可燃废料(废木材、废油毡、废沥青)。其中废混凝土砂石产生量228万t，占总建筑废弃物的80%；废砖产生量17万t，占总建筑废弃物的17%；其他建筑废弃物约9.3万t，占总建筑废弃物的3%。

1.2.2 废弃物的空间分布特征

利用Mapinfo软件对数据进行处理，使之与地图对象相连接，在电子地图上表达拆迁建筑废弃物随空间和时间的变化。图1为建筑垃圾总量分布图，其中色块的深浅代表产生量的大小，从图中可以看出，上海浦东钢铁有限公司产生的建筑垃圾占中心区企业总产生量的50%。同时建筑垃圾的组成，即废混凝土砂石、废钢、可燃废料和废玻璃的产生量分布也绘制成图，清晰地指示出废弃物的分布特征，从而为物流平衡方案的制订提供了科学的依据。

2 物流平衡方案

根据世博园区建设施工的实际情况，项目建设计划变动较小，而拆迁计划相对比较灵活。为了达到根据拆迁计划和建设计划两者出现的建筑垃圾产生和需求情况的匹配，通过调整拆迁计划来达到目的。如图2所示，在建筑垃圾产生和需求之间的匹配过程中建立一个建筑垃圾的暂存场所，其作用主要是缓冲和信息反馈，即当建筑垃圾产生的量超过施工对其的需求量的时候，可以把建筑垃圾运输到暂存场所进行暂存，使建筑垃圾绝对量平衡时受到的时间限制得到解决；而储存场一般又有一定的规模，即空间限制，因此当储存的建筑垃圾量达到一定的限值后，可以把此信息反馈到调控中心，而调控中心则根据反馈信息和建设施工情况实时地对拆迁计

万方数据

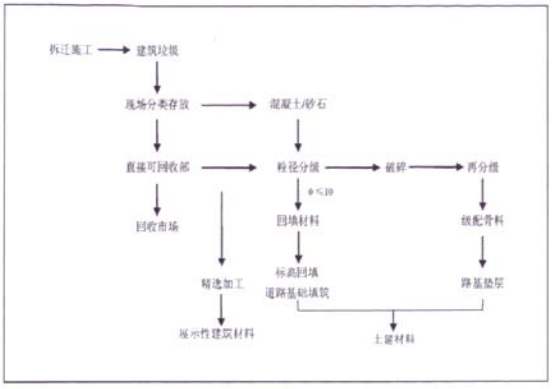


图3 建筑废弃物资源化利用总体思路



图4 建筑垃圾处理场各区块的建议分区

划进行调整，达到优化的目的。

为了验证方案的合理性，项目组通过数据加以了说明。根据传统方法进行平衡所需储存的建筑垃圾量在2006年8月达到了最大，为11万m^3。而根据优化调整的拆迁计划进行平衡的结果是储存量在2007年2月份达到了最大，为4万m^3。从两者的对比结果，可以得出，通过优化拆迁计划，可以节省储存空间7万m^3。

3 建筑废弃物资源化利用实施方案

3.1 总体思路(图3)

3.2 处理场选址及功能分区

在世博园区内建立的建筑垃圾处理场，可部分作为建筑垃圾和表层绿化土产生后的临时堆放场地，部分作为建筑垃圾的处置场所。这样，既可发挥其中转功能，又可发挥其建筑垃圾综合利用和处置的产业效应。根据工程需要，建筑垃圾处理场所应起到的功能有储存和成品与半成品的加工，因此，建筑垃圾处理场可分为4个区域，即建筑垃圾堆置区、园区绿化土暂存区、再生骨料储存区和建筑垃圾加工及产品区4个区块(图4)。

3.3 废弃物分类预处理

根据工程实际，整个项目施工过程包括建筑物的拆毁、建筑垃圾源头分类和各分类垃圾组分的利用及再生处理3个阶段。建筑垃圾资源化过程的整个流程如图5所示。按照垃圾可再生性和可利用价值通常将其分为：1)可直接利用材料；2)可作再生利用材料；3)没有利用价值的垃圾等3类(表1)。

表1 建筑废弃物类型及主要成分

废弃物类型	主要成分	主要用途
可直接利用材料	废混凝土砂石、废砖、废瓦等	地形堆筑，工程回填
可作再生利用材料	大块废混凝土、废钢材、废木材、废玻璃、废塑料等	加工骨料、制作景观小品、砖墙等展示性应用
没有利用价值的垃圾	其他废弃物	——

4 建筑废弃物资源化利用技术

世博园区建筑废弃物资源化利用技术主要集中在地形营造、废混凝土再生利用、废玻璃再生利用、废木材再生利用及废钢材再生利用等方面。

4.1 “芯”“表”土分层填筑法地形营造技术

4.1.1 思路

世博公园内原址为废弃厂房区，存留了大量的拆房建筑废弃物需清运，而且根据工程需要，对地坪以下的大量房屋基础需清理，导致工程现场将产生大量残留建筑废料。结合设计和工程现状，为地形营造提出了“芯”“表”概念。针对“芯”“表”地形营造法，制定了相应的施工方案。即在保证绿化种植的前提下，地形营造材料分2块，一块为表层厚2m范围内，采用绿化种植土，称为“表”，另一块为种植土以下部分采用分拣处理的建筑废物作为填筑材料，称为“芯”(图6)。

4.1.2 施工技术方案

1)对“芯”部分材料的整合。

通过现场勘查结合工程量的计算，确认材料用量的实际情况，确定先以原地坪以上的经分拣处理的建筑废弃物作为主材堆筑防汛墙以南“芯”部分地形，基本达到70%，然后进行剩余地块地下障碍物的清理工作，尤其在防汛墙以北，为保证种植土层2m的要求，将挖出大量建筑废弃物，然后根据地块“芯”材料平衡表进行材料运输调配平衡，达到土方量的总体平衡要求(图7)。

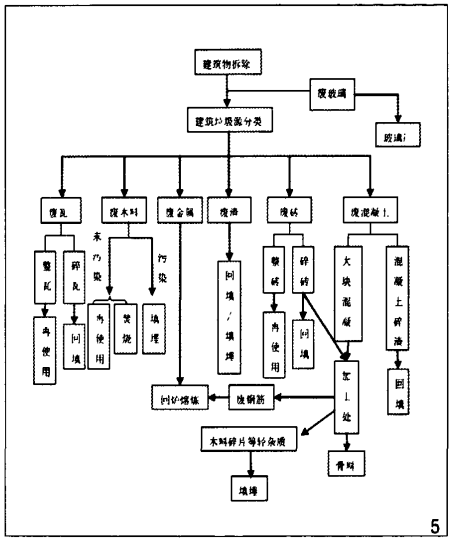
对于建筑废弃物一般以碎砖块和破碎过的混凝土为主。分拣处理具体做到：分拣出所有对植物生长有害、有毒的物质；分拣出长时间会腐烂导致体积变量造成地基变形(如残枝)的材料；材料粒径一般控制在10~40cm，按10cm、20cm、40cm各占1/3比例混合搅拌。

用建筑垃圾堆筑“芯土层”，为了保证山体地形的稳定性，堆置山体芯土层用的建筑垃圾的块径应小于0.3m，在堆置山体芯土层时，纯建筑垃圾内需掺入一定量的杂土和细垃圾，对作业区的混合料按设计要求分层推平碾压，一般每层控制在0.5m左右。在连续干旱时应采取人工喷水以

万方数据







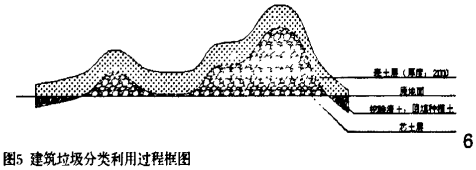


图5 建筑垃圾分类利用过程概图
图6 世博公园山体地形分层堆筑
图7 芯土层施工现场
图8 表土层施工现场

减少扬尘及建筑垃圾的黏性。

2)“表”层施工。

为了保证种植土厚度及表面排水畅顺，“芯”部表层也是一个地形等高线施工工程，严格按照设计要求，高程误差控制在允许值内，完成后再进行2m“表”层的填筑。在2m“表”层营造中，为了保证2种材料接合部的结构构造要求，先以50cm左右土层作为结合部，采用分层碾压使其2部分材料充分黏合，以防2种材料发生断层滑坡。表层种植土的翻松应以1m厚度为宜(图8)。

总的来说，用建筑废料做基层，相对承载力较大，可代替其他地基加固措施，解决山体稳定的隐患。同时，利用建筑废料作芯土层，密实度相对较高，从根本上减少了地形沉降量，增强了山体稳定性。最后，采用建筑废料作芯土层，可保证合理的透水性，使“表”层渗透水能够通过“芯”层快速排出，减少了种植土层的积水，提高了成活率。

4.2 废混凝土再生利用技术

用手工方法除去废钢筋、废木料等杂质，用电磁分离法除去铁质、杂质等。二次破碎后要求达到的物料粒径小于40mm，其中粒径在10～40mm之间的再生物料称作粗骨料，多应用于拌制再生混凝土和工程基础回填；小于10mm的再生物料为细骨料，主要用于生产透水材料、再生多孔砖和混凝土砌块等。

4.3 废玻璃再生利用技术

废玻璃主要产生于选择性拆毁过程，拆除的废玻璃主要通过卡车运送到玻璃厂进行再生利用。与铝合金及其他金属混合的玻璃可以通过静电鼓式分离机将含在玻璃中的少量金属分离出来，一般经过3次以上即可将含在玻璃中的金属基本分离干净，再通过磁流体分选技术可以将玻璃中的金属全部分离，剩下的即为纯度很高的玻璃原料。

废玻璃再生利用技术方法之一是利用废玻璃制作泡沫玻璃，将已经预处理的碎玻璃经过锤碎、筛选、计量后与发泡剂混合并装入模具中。同时按比例加入添加剂和发泡剂一道搅拌、装模，在焙烧温度700℃～800℃下发泡，最后退火切割成块供应用。原料配比为废玻璃97%～98.5%，发泡剂1.0%～2.5%，添加剂0～1%。

另外也可以利用废弃玻璃制作轻骨料，原料配比为废弃玻璃原料75%～82%，黏土15%～25%，硅酸钠1%～3%，工艺流程如图9所示。

4.4 废木材再生利用技术

4.4.1 利用废弃木材制作纤维板

废弃木材经过刨片、热磨(温度160℃～180℃，蒸汽压力1～1.2MPa)，其包间层会发生爆裂，达到软化和解纤，制成浆料，在获得一定细度的浆料在打浆池内打浆，同时加入2%～3%的酚醛树脂(或其他胶黏剂)和沉淀剂，将树脂沉淀在纤维上，在氢键和各种分子结合力等的作用下经热压结合成纤维板。原料配比为废弃木材制成的纤维(干)85%～90%，酚醛树脂2%～5%，硫酸铝1%～1.5%，石蜡

万方数据

表2 废弃物再利用技术应用效果

技术	消纳废弃物量/万t	占总产量比例/%	节约成本/万元
芯表土分层填筑技术	192.5	96.7	6 705
废玻璃再生技术	0.2	0.1	480
废钢材再生技术	3.5	1.8	14 000
废木材再生技术	2.8	1.4	4 000
总计	200.0	100.0	25 185

1%~1.5%；工艺流程如图10所示。

4.4.2 利用废弃木材制作中密度纤维板

经过和纤维板相同的预处理工艺，只是经热磨之后，纤维不尽入打浆池打浆，而采用干法在管道中施胶和在管道中干燥，纤维得率高，板材施脲醛胶，施胶量大，板材两面光；原料配比为废木料制成的纤维82%~85%，低甲醛脲醛树脂12%~15%，氯化铵0.5%~1%，石蜡1%~2.5%；工艺流程如图11所示。

4.5 废钢材再生利用技术

废钢筋主要来自于钢筋混凝土，在建筑物拆毁之后，用机械和人工的方法，破碎钢筋混凝土，分离出废钢筋，用卡车运送到炼钢厂回炉炼钢。另外来自于钢铁厂的废钢块也可直接利用作为小品雕塑材料和铺装材料(图14)。

4.6 实施效果

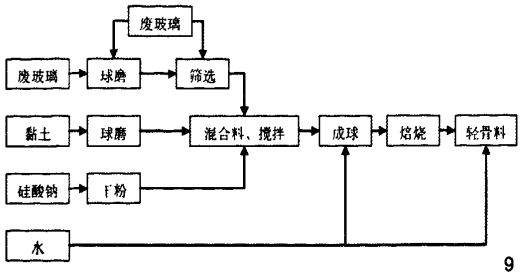
世博园区内对建筑垃圾的实际回收利用率达到了70%以上，废弃物再生利用技术应用的效果如表2所示，其中芯表土分层填筑技术消纳废弃物量192.5万t，占总建筑垃圾产生量的96.7%，节约成本约6 705万元。

5 结语

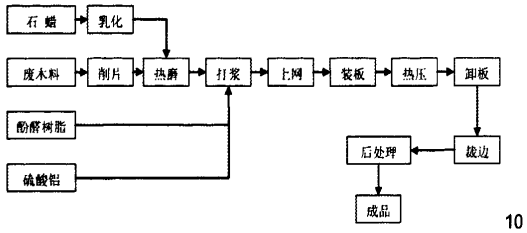
实践证明，世博园区建筑废弃物资源化利用所施行的“建筑废弃物源头削减策略”极其成功。这种策略在建筑废弃物形成之前，就通过科学管理和有效的控制措施将其减量化，同时对于产生的建筑废弃物则采用科学手段，使其具有再生资源的功能，从而获得经济、环境等各方面的巨大效益。一系列建筑废弃物资源化利用技术，尤其是芯表土分层填筑技术的成功应用，使得上海园林绿化行业的整体施工技术水平，在世博建设的平台上得到进一步提升，同时也为其他城市的绿地建设提供了实践经验和借鉴参考。

随着人类对自然资源的珍惜和对环境保护的重视，建筑废弃物资源化再生利用势在必行，这也是建设业可持续发展的重要出路之一。

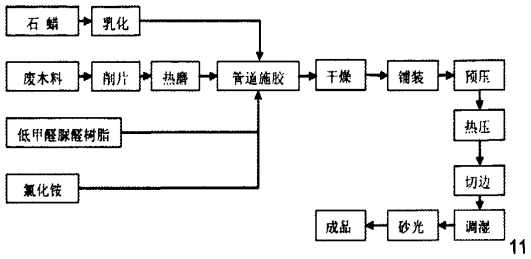
注：图1~5引自同济大学固体废物处理与资源化研究所，世博园区建筑垃圾资源化利用和处置方案研究2006年结题材料；图6~11由上海园林(集团)有限公司陈伟良提供。



9



10



11

图9 废玻璃制作轻骨料工艺流程图
图10 利用废木料生产纤维板工艺流程
图11 利用废木料生产中密度纤维板工艺流程

参考文献：

[1] 戚立昌.建设废弃物的利用[J].中国建设，1999(6)：49.

[2] Banthia N, Chan C. Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete[J]. *ACI Concr Int*, 2000, 22(6): 41-45.

[3] 曹小琳，刘仁海.建筑废弃物资源化多级利用模式研究[J].建筑经济，2009(6)：91-93.

[4] 许志中，黄世梅.我国建筑垃圾综合利用的几点建议[J].建筑技术开发，2003，30(7)：109-110.

(编辑/金花)

作者简介：

张青萍/1965年生/女/江苏人/博士/南京林业大学风景园林学院副院长，教授，博士生导师/研究方向为风景园林规划与设计(南京 210037)

李婷婷/1976年生/女/陕西人/高级工程师/上海交通大学风景园林硕士/上海园林(集团)有限公司技术中心副主任(上海 200023)

徐 英/1979年生/女/江苏人/南京林业大学在读博士研究生/江苏大学讲师/研究方向为风景园林规划与设计(南京 210037)

万方数据

上海世博园区建筑废弃物资源化利用技术研究

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 张青萍， 李婷婷， 徐英， ZHANG Qing-ping， LI Ting-ting， XU Ying

作者单位： 张青萍,ZHANG Qing-ping(南京林业大学风景园林学院,南京,210037)， 李婷婷,LI Ting-ting(上海交通大学,上海,200023)， 徐英,XU Ying(南京林业大学,南京,210037)

刊名： 中国园林 ISTIC PKU

英文刊名： CHINESE LANDSCAPE ARCHITECTURE

年，卷(期)： 2011(3)

参考文献(4条)

1. 戚立昌 建设废弃物的利用 1999(06)

2. 许志中;黄世梅 我国建筑垃圾综合利用的几点建议[期刊论文]-建筑技术开发 2003(07)

3. 曹小琳;刘仁海 建筑废弃物资源化多级利用模式研究[期刊论文]-建筑经济 2009(06)

4. Banthia N;Chan C Use of recycled aggregate in plain and fiber-reinforced shotcrete[外文期刊] 2000(06)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zgyl201103004.aspx