

地震建筑废弃物资源化再生技术与对策研究

刘 鸣*, 索 建, 于 辉

(大连理工大学 建筑与艺术学院, 辽宁 大连 116024)

摘要:汶川大地震后,科学处理和再生建筑废弃物成为降低震后环境污染、节约骨料资源和开发新型材料的关键问题.遵从再使用、再利用和再循环建筑废弃物的原则,探讨了国外地震建筑废弃物的再利用与管理特点,分析了震后建筑废弃物资源化处理方法和用途,并剖析了就地取材骨料再生利用实例,包括混凝土的再生技术与性能和建筑废物砖的制作与性能,提出了建筑废弃物特殊化再利用的对策,应从清运管理、实施操作、低成本、无害化以及规定回收再利用率等方面开展,为灾区有效再生利用地震建筑废弃物提供了借鉴.

关键词:建筑废弃物;汶川地震;资源化再利用;环境污染

中图分类号: TU993.3; X705 **文献标志码:** A

0 引言

地震后,城市废墟中遗留大量废弃物,主要包括生产生活垃圾、建筑废弃物、医疗垃圾以及救灾垃圾等^[1],其中众多损毁建筑物产生的建筑垃圾占主要部分.2010年底,四川省将完成地震灾区废墟垃圾的清理、回收工作^[2],如何管理和清理这一庞大的建筑废弃物系统,成为灾后亟待解决的问题之一.根据国务院抗震救灾总指挥部的报告估算,“5·12”汶川大地震中损坏房屋总量为 $2\,434.3 \times 10^4$ 间、倒塌损坏房屋总量为 694.5×10^4 间,产生建筑废料总量不下 5×10^8 t,远远超过我国每年建筑施工所产生的建筑垃圾总和^[3].震后长期暴露于室外环境的建筑废弃物对周围环境会形成一定的危害,影响空气质量、污染当地水域、占用农田、降低土壤质量等,因此如何科学地、及时地处理大量建筑废弃物成为地震后的当务之急.

1 地震建筑废弃物资源化途径

1.1 地震建筑废弃物构成

地震建筑废弃物的组织成分很复杂,图1为震后建筑废弃物分布现状,不同结构类型的建筑物所产生的建筑废弃物成分不一样,但基本组成主要是碎石块、废砂浆、渣土、砖瓦碎块、废混凝土

块、废沥青块、废塑料、废金属料、废竹木等,其具体成分如图2所示.



(a)



(b)



(c)

图1 震后建筑废弃物分布现状^[3~5]

Fig. 1 Distribution of building demolition wastes after earthquake^[3~5]

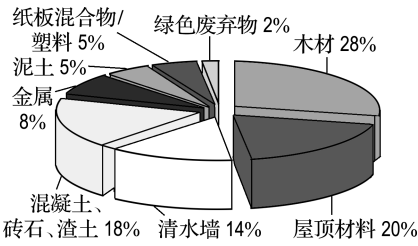


图 2 建筑废弃物的成分组成

Fig. 2 Component of building demolition wastes

1.2 国外地震建筑废弃物的再利用与管理

在美国、巴基斯坦等国家,地震废置的混凝土块和沥青块主要作为再生建筑骨料或道路底层铺材;日本将建筑垃圾视为建筑副产品,主要作为建筑和级配骨料,也作为工程填方、土质改良及填海造陆材料^[6,7].

为促进建筑垃圾的再利用,如比利时、荷兰、丹麦等欧洲国家都在本国的建筑法规中制定了建筑废弃物回收和再生的方案,规定了使用再生材料的比例,促使建筑垃圾的回收率在 80% 以

上^[6].日本在制定“灾后建筑垃圾管理机制”时,强制规定公共工程必须使用一定比例的再生材料,以提高建筑垃圾的回收利用率.日本和中国台湾地区还建立了灾后建筑垃圾信息资讯管理系统,以便获得灾后废墟中垃圾的产出区域、种类、数量、交换、传输、流通等相关资讯^[1,6~8].

1.3 震后建筑废弃物资源化途径

震后建筑垃圾的处理途径目前主要有:再使用、回收利用和填埋.再使用主要针对可使用和未使用过的产品,包括木材、沥青屋面、绝缘体、供暖管等,其他的如碎混凝土石块和碎砖等作为填充材料.建筑和拆建垃圾的回收利用取决于组成废弃物混合物的分离能力及其处理能力.目前,主要包括混凝土、木材、沥青屋面板、金属和泥土,35%~40% 的建筑垃圾最后推向填埋场进行最终处理.表 1 是根据文献^[7~10]和汶川地震现状整理的地震过后主要建筑材料的处理方法和再利用途径.

表 1 震后主要建筑材料处理方法和再利用途径

Tab. 1 Disposal and reutilization methods of building materials after earthquake

回收的材料	处理方法	用途
未使用或性能良好的建筑构件及材料	如门窗、混凝土预制板、砖石等	消毒、修补后可直接再使用
废弃混凝土	破碎—去配筋等物质—筛分—转化	新建筑混凝土料、道路/隧道/堤坝材料
废弃砖瓦	破碎—分选—磨细—转化	围护结构材料、混凝土制品
沙砾土	破碎—筛分—转化	建筑用沙石、填充物、新制品
沥青	破碎—去磁性物—筛分	新屋顶材料、铺路材料、道路补修材料
木材	分拣—分级筛分—破碎/转换	燃料、建筑产品、填埋场中间覆盖物
清水墙(石膏)	研磨;重新制浆	重新加工,土壤改良剂、重新制浆
金属、塑料	分类处理	按照相应的加工方式循环再生

2 就地取材骨料再生利用实例

从表 1 可以看出质量性能完好的建筑材料,废弃混凝土、废旧钢材、塑料制品等都可以进行再循环利用.本文结合国内外如中国台湾地区及日本、巴基斯坦、美国等国家^[6,8~10]在地震发生后处理建筑垃圾的经验,讨论能够在现场进行收集、处理及应用建筑垃圾的过程和实例,希望对暴露于室外的建筑垃圾进行再利用,以解决震后临时住房原材料问题和降低建筑垃圾对环境的二次污染.

2.1 混凝土再循环的处理与性能

建筑废弃物的数量已占到城市垃圾的 30%~40%,其中的 50%~60%为废弃混凝土.传统

处理废弃混凝土的办法:或者运往郊外掩埋,占用和侵吞大量农田;或者运往河道倾倒,阻碍汛期行洪和河道畅通,这些都带来一定的不利影响^[11,12].为保护环境,避免不必要的污染,通过再利用、再循环的方式减少废物的排放可从根本上解决废弃混凝土的处理问题.因此,如此庞大的废弃混凝土不应成为震后环境处理的负担,而应成为当地人重建家园的基本建筑材料.利用地震废弃混凝土一方面可以回收其中的钢筋,破碎后的混凝土可作为路基材料;另一方面再生重新用做混凝土骨料.图 3 是混凝土的再循环现场处理加工过程,即现场收集—运输加工或就地处理—现场粉碎—现场处理加工成型—现场建造应用.

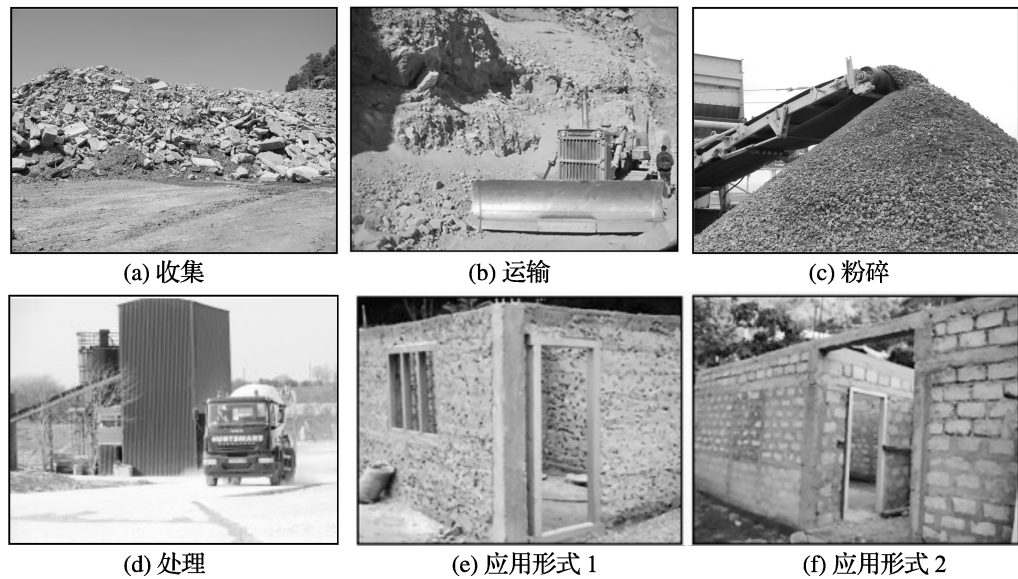


图 3 混凝土的再循环现场处理加工过程^[13~15]

Fig. 3 Spot treatment of recycled aggregate concrete^[13~15]

再生粗骨料与天然粗骨料的各项物理性能对比见图 4。再生材料的合成与原材料的表观密度、堆积密度、吸水性、含泥量、针片状含量、压碎指标、相对表面粗糙度等有关。其中再生粗骨料的含泥量远远大于天然粗骨料，随着原生混凝土强度的增高，再生骨料的质量越好，基体混凝土越不容易破碎，再生骨料的吸水率升高与再生骨料的表面粗糙度、孔隙率以及骨料的内部缺陷有关。与天然粗骨料相比，再生粗骨料的吸水率提高了 94.4%，再生混凝土的表观密度较普通混凝土降低 5.2%，其原因是再生骨料比碎石骨料的密度小^[12,16]。图 5 是哥本哈根 Rodovre 摩天大楼“天空之城”，建筑中 40%混凝土为再生利用。可见，再生混凝土不仅可以解决低多层建筑的结构问题，对于具有现代感的高层建筑同样能够得到应用。

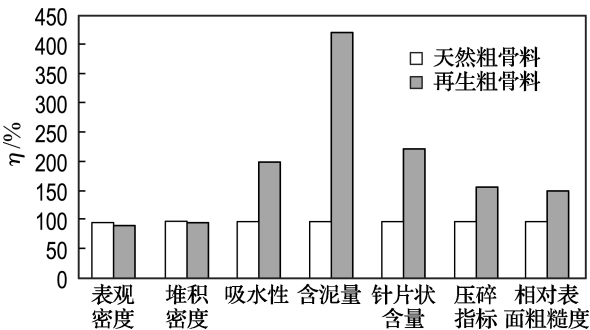


图 4 各项物理性能对比^[16]

Fig. 4 Physics capabilities comparison^[16]



图 5 混凝土再生应用建筑实例^[17]

Fig. 5 Architecture instances by recycled aggregate concrete^[17]

2.2 建筑废物砖的制作与性能

建筑废物砖有几种形式，如建筑废弃物加麦秆的再生砖、秸秆加压合成的草砖等。这些废物砖的生产都非常简单，再生砖是以建筑废弃物为原料，掺杂轧碎的秸秆，加上少量水泥混合以半手工生产的方式施工，现场就能加工而成，实用工具如图 6 粉碎机和压砖机。如图 7 所示废物砖成品中依稀可见碎石、碎砖和秸秆。

草砖是将废弃的秸秆等放进草砖机(图 6 捆扎机)，通过一次次打压，将草压成一层层薄片，压实后用铁丝或麻绳将其扎成捆制成，砖的长度和高度可根据需要进行调整^[19,20]。由于建筑废物砖的生产场地可在灾区附近建造，房屋可以很快、很便捷地搭建起来，而且它的经济性能显著，保温隔



图 6 废物砖制作工具^[18,19]

Fig. 6 Manufacture tools of waste brick^[18,19]

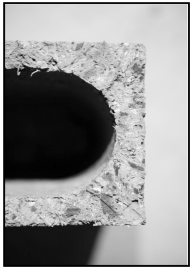


图 7 建筑废物砖^[18]

Fig. 7 Building waste brick^[18]

热性能也非常好。美国建筑师 Kelly 和工程师 David 在 1998 年我国河北张北县发生 6.2 级地震后,就将这一技术应用到灾区农村住宅的建设当中。目前,草砖墙体的性能研究水平已有了明显提高,见表 2^[21]。

表 2 框架墙体与草砖墙体性能比较
Tab. 2 Capabilities comparison between frame structure wall and straw bale wall

墙体	厚度/cm	隔热等级	蓄热板	耐火强度	隔声
传统螺栓框架	17	R-19	1.2 cm 石膏板	不防火	较差
三层草砖	66	R-40	2.4 cm 灰泥	2 h	良好

3 地震建筑废弃物再利用对策

3.1 地震建筑废弃物再循环措施

(1) 选择性直接再利用

通过对现场建筑物的调查与评价,可以回收直接利用性能保持完好的构件或材料,如完整的门窗、未损坏的砖瓦、金属等。

(2) 纪念性保留再利用

为纪念城市抗震历程需要选择性地保留建筑废墟遗址,将诸如建筑材料、日常用具等消毒处理保留,维持废弃物及其环境原貌。

(3) 统一管理资源化再利用

一般统一管理并资源化处理应由当地政府统筹管理^[1],由相应部门对需要处理的建筑废弃物进行评价分类,对可重复利用的建筑材料最大程度开发使用,以缓解灾区能耗、环境污染等问题。

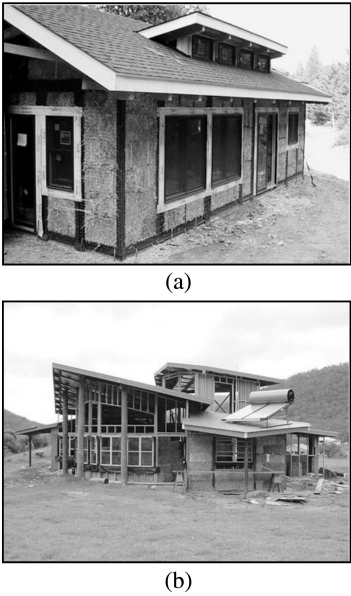


图 8 废物砖应用建筑实例^[22,23]

Fig. 8 Application example of waste brick^[22,23]

针对集中管理再利用开发,由地震建筑废弃物到再生骨料转化的工艺技术处理流程见图 9。如图所示可建立一条针对地震后当地废弃建筑垃圾为原料进行分离废料、破碎过筛、现场分级处理、强化合成、现场施工应用建造房屋的工艺流程。该程序可以针对废弃材料的材质、颗粒和洁净状态进行相应控制。地震建筑废弃物骨料循环再生工艺设备应具有体积小、可移动、易操作等特点,便于在灾区各地区间就地进行处理建筑废弃物,并及时在房屋重建中得到应用。

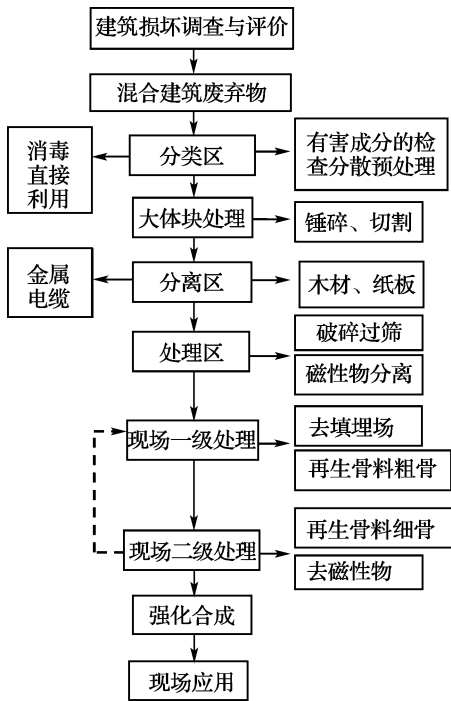


图 9 针对地震建筑废弃物进行处理流程
Fig. 9 Earthquake building demolition wastes disposal flow chart

3.2 地震建筑废弃物特殊再利用策略

震后产生的大量建筑废弃物,尤其是砖石、混凝土废弃物,已成为我国城市建设发展和环境保护的一个巨大瓶颈.有效地再利用建筑废弃物不仅关系到建筑垃圾能否资源化,而且对节约能源、快速便捷的城市重建具有促进作用.由于地震灾害的特殊性,要求对于毁坏的建筑废弃物处理不能过于复杂,而且应能就地取材,低成本及时地利用到临时住宅当中以解决灾民的住房问题,同时保证利用再生材料建筑房屋的无污染、保暖、降温、防余震质量.因此,为实现震后建筑废弃物的良好循环,应使其实践过程保证以下几点.

(1)制定清运管理程序

震后建筑废墟的特殊性以及构成的复杂性给清运工作带来了一定困难,因此制定合理的运输流向和处理程序是开展建筑废弃物处理的前提,尽量实现就地取材、就地处理、就地实施,减少废弃物运送距离.

(2)实施操作可行性

地震后灾民的住宅问题是安顿人心,稳定灾后恐慌的方法之一.建筑废弃物再利用应保证实践的可行性和可操作性,对施工人员专业技能要求不高,通过人工化或半机械化加工途径就能够

在现场完成材料的处理与加工,进而可以建造所需住宅,该方面值得注意的问题是建造可操作的同时,保证房屋无污染、保暖、降温质量.

(3)控制处理低成本

原料和处理成本问题是震后建筑重建中面临的实际问题之一.当建筑废弃物具有一定经济和功能优势时,自然能够发挥其再利用的潜力.因此在保证材料性能的基础上,就地取材及应用当地条件低成本进行建筑废弃物再处理是相应技术在灾区重建中实践和推广的前提.

(4)保证无害化处理

震后废墟中的建筑垃圾对环境生态、灾区卫生防疫影响巨大,及时有效地进行无害化处理,消耗分解部分可利用的建筑材料对减轻灾后环境承载负担具有重要作用.

(5)强制提高废弃物回收再利用率

目前诸多国家(丹麦、荷兰等国)建筑废弃物回收再利用率皆高于 50%^[6].地震后通过制定有效的规划政策,强制提高废弃物回收再利用率,以此为目标鼓励灾区重建利用再生材料.

4 结 语

汶川大地震后,城市昼夜之间变成一片废墟,科学有序地进行应急管理、应急处理以及废弃物再利用等一系列问题是防止灾后环境污染、病菌蔓延等状况发生的重要环节与途径.将倒塌废弃的建筑垃圾经消毒、筛选、处理、合成等环节再生利用后,使其变废为宝,更新为新的建筑材料,既有利于改善灾区的生态环境,又有利于为灾区人民提供搭建临时住宅的原材料.总之,建筑废弃物的再生利用是一项艰巨而复杂的任务,需要社会多级部门的配合、相应政策的管理和指导以及更需要易操作、低成本、性能良好的建筑技术的支持与配合.

参考文献:

[1] 姚 鑫,马 剑.汶川地区地震后城市垃圾综合处理的策略探讨[J]. 新建筑, 2008(6):89-91
[2] 刘 富.汶川地震废弃物,要求 2010 年完成资源化处置 [EB/OL]. (2009-01-12) [2009-05-21]. <http://sc.people.com.cn/news/HTML/2008/12/29/20081229095742.htm>
[3] 地震灾后重建是机遇,再生节能建材产业前景广阔 [EB/OL]. (2009-02-05) [2009-05-21]. <http://www.chinagb.net/news/waynews/20090205/44538.shtml>

- [4] 北川纪录——“生命的呼唤”[EB/OL]. (2008-05-17) [2009-05-21]. http://www.china.com.cn/news/zhuanti/wxdz/2008-05/17/content_15274607.htm
- [5] 李 刚. 北川, 让我再望你一眼 [EB/OL]. (2008-05-29) [2009-05-22]. http://www.sc.xinhuanet.com/content/2008-05/29/content_16455129_1.htm
- [6] 黄荣尧, 李崇德. 建筑废弃物回收系统制度之研究 [J]. 台湾科技大学技术学刊, 2005, **20**(1):91-106
- [7] 唐 浩. 废弃物在灾后重建中的利用 [J]. 建筑学报, 2009 (1):97-99
- [8] EVERT M, DE JONG T P, FEENSTRA L. Closed cycle construction: An integrated process for the separation and reuse of C&D waste [J]. **Waste Management**, 2007, **27**(10):1408-1415
- [9] GEORGE T, FRANK K. 固体废物管理手册 [M]. 解强, 杨国华, 译. 北京: 化学工业出版社, 2006
- [10] GOODHEW S, GRIFFITHS R, WOOLLEY T. An investigation of the moisture content in the walls of a straw-bale building [J]. **Building and Environment**, 2004, **39**(12):1443-1451
- [11] 王 江, 薛燕飞, 周 辉. 再生混凝土抗压强度研究 [J]. 混凝土, 2006, **201**(7):47-49
- [12] POON C S, SHUI Z H, LAM L, *et al.* Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of hardened concrete [J]. **Cement and Concrete Research**, 2004, **34**(1):31-36
- [13] NAPPI P. Nashville construction and demolition debris recycling and hauling company, recycling facility and recycled concrete aggregate pricing [EB/OL]. [2009-06-01]. <http://www.tennwaste.com/dotnetnuke/Recycling Facility/tabid/54/Default.aspx>
- [14] Products & services [EB/OL]. [2009-04-30]. <http://www.huntsmansquarries.co.uk/index.html>
- [15] SINCLAIR C, STOHR K. Building a more sustainable future using the power of design [EB/OL]. [2009-05-26]. <http://architectureforhumanity.org>
- [16] 郭远臣, 孙可伟, 林志伟. 建筑垃圾再生骨料物理性能研究 [J]. 砖瓦, 2008(9):98-100
- [17] ION A. Stackable sky village high rise in Copenhagen, green packs [EB/OL]. (2008-11-10) [2009-07-21]. <http://www.greenpacks.org/2008/11/10/stackable-sky-village-high-rise-in-copenhagen/>
- [18] 刘家琨. 再生砖 [J]. 新建筑, 2008(4):52-56
- [19] GEMRNOT M, FRIEDEMANN M. 秸秆建筑 [M]. 刘婷婷等, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007
- [20] 刘伯权, 田 苗, 刘 鸣. 草砖建筑的节能性分析及其在西北地区的应用前景 [J]. 工业建筑, 2007, **37**(3):17-19
- [21] ELIZABETH L, ADAMS C. 新乡土建筑 [M]. 吴春苑, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005
- [22] Wellington City Council. Straw bale house [EB/OL]. [2009-05-23]. <http://www.wellington.govt.nz/services/environment/sustain/sustainable.html>
- [23] EDMONDS M. How straw bale houses work, how stuff works? [EB/OL]. [2009-05-24]. <http://home.howstuffworks.com/home-improvement/energy-efficiency/straw-bale-house.htm>

Resources reutilization technology and countermeasures research of building demolition wastes in earthquake

LIU Ming*, SUO Jian, YU Hui

(School of Architecture and Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: After Wenchuan earthquake, scientific process, recycle and reuse of building demolition wastes become the key problems for decreasing environmental pollution, saving aggregate resources and exploiting new materials after earthquake. According to the reuse and recycle principles, the overseas management characteristics and ways on earthquake building demolition wastes are discussed. The treatment and application of recycling aggregate on the spot were analyzed, including reuse technology and capabilities of waste concretes as well as making and performances of waste bricks. The countermeasures such as conveyance, construction, cost, innocuous disposition and recycle ratio are put forward for further management.

Key words: building demolition wastes; Wenchuan earthquake; resources reutilization; environmental pollution