# 城市建筑垃圾的资源化管理－以厦门为例

石建光[1]　林树枝[2]
(1. 厦门大学建筑与土木工程学院　厦门　361005; 2. 厦门市建设与管理局　厦门　361003)

[摘　要]　城市化快速发展产生大量的建筑垃圾,建筑施工和建筑拆除产生的建筑垃圾占垃圾总量的90%以上。同国外发达国家和地区相比,我国建筑垃圾管理的法律法规尚不完善,建筑垃圾的再利用水平和管理措施需要进一步加强。本文以厦门等低碳城市的建设为例,研究建筑垃圾的资源化管理,这项工作对低碳城市建设具有重要的示范和引导价值。

[关键词]　建筑垃圾　厦门　城市管理　低碳　环保

## Resource Management of Urban Construction and Demolition Waste －a Case Study of Xiamen City

Abstract: A lot of construction and demolition wastes were generated in the rapid urbanization. Construction and demolition waste are accounted for more than 90% of the total city wastes. Compared with developed countries and regions, China's management laws and regulations about construction and demolition waste are not perfect. Further improvement of the level of recycling of construction and demolition waste and strengthen management measures are needed. In the case of the low－carbon city construction, Xiamen city and other, the resource management of construction and demolition waste is studied. This work has an important demonstration and guide value to the low－carbon urban construction.

Key words: Construction and demolition waste; Xiamen; city management; low－carbon, environmental protection

## 1 引言

一般所说建筑垃圾是指新建、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、弃料及其它废弃物[1]。建筑垃圾的来源于:土地开挖、道路翻修、旧建筑物拆除、建筑施工等[2],具有来源广泛、种类繁多和成分性能差异大等特点。

建筑施工、建筑装修和建筑物拆除等不同阶段产生的建筑垃圾,其组成成分差异较大。城市建筑垃圾的大量产生不仅引起严重的环境和交通运输问题,也造成大量的资源浪费。本文对建筑垃圾的来源进行分析,并以厦门为例,探讨了城市建筑垃圾的再利用和资源管理,本项研究对低碳城市建设具有指导价值。



图1　预制桩截下的桩头后的混凝土垃圾

## 2 建筑垃圾的来源分析

### 2.1 建筑施工垃圾

建筑施工垃圾主要由碎砖、砂浆、混凝土、桩头、包装材料、屋面材料、钢材、木材等组成,这些材料约占建筑施工垃圾总量的80%,其中碎砖、砂浆、混凝土能占总量的50%[3]。

作者简介:石建光,男,1962年2月,厦门大学建筑与土木工程学院,教授,专业领域:土木结构工程。
林树枝,男1963年5月,厦门市建设与管理局,教授级高工,专业领域:结构工程。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图2 建筑施工中产生的建筑垃圾




图3 已有建筑装修产生的建筑垃圾和倾倒后对环境的影响

建筑施工中产生的混凝土垃圾主要来源于预制桩截下的桩头、灌注桩上部浮浆层截去、浇筑混凝土时的散落和溢出等(图1)。

建筑施工中产生的碎砖主要来源于砌块砌筑中的砍砖、搬运破损、临时设施砌筑等。而建筑施工中产生的砂浆废料的主要来源于施工操作散落、拌合过程、搬运散落等。散落在施工现场的各类建材的包装材料也是建筑垃圾的一部分。但碎砖和砂浆是建筑施工垃圾的主要成分(图2)[4]。

单位建筑面积产生施工垃圾的数量一般在40~200kg/$m^2$之间。影响建筑施工垃圾产生数量的因素有:图纸变更引起的返工、主体施工中的砌筑、砂浆抹灰、泵送混凝土的浪费等。建筑垃圾产生量与施工管理人员的管理水平、施工人员的素质、房屋的结构形式及特点、施工质量、施工技术等多方面因素有关[5]。

2.2 建筑装修垃圾

建筑装修中产生的建筑垃圾主要由砖块、混凝土块、木块、刨花、灰土、废陶瓷、废五金和废杂物等组成,建筑装修可以分为已有建筑的装修改造和新建筑的装修,已有建筑装修改造产生的建筑垃圾是新建筑的1.4~3倍(图3),装修过程中每平方米的建筑面积将产生约0.1~0.4$m^3$的建筑垃圾[6]。

新建房屋的二次装修会造成结构破坏、资源浪费和施工扰民等各种问题,根据测算,每100平方米毛坯房装修产生2吨左右建筑垃圾。

2.3 建筑物拆除垃圾

建筑物拆除是主要的建筑垃圾来源,拆除建筑物的原因主要有城市规划的变更、旧城改造、道路建设的需要、违章违法建筑和临时建筑、因地震、台风、洪水、战争、工程质量缺陷等造成的建筑物倒塌等。由于城市建设标准低、基础设施配套差、城市建设土地资源缺乏等原因,旧城改造拆迁成为很多城市的主要建设形式,由此引起大量房屋拆除,产生大量建筑垃圾(图4)[4]。建国初期和上世纪七八十年代建造的房屋,建造标准低、质量和环境条件差,成为各地拆除的主要建筑物[7]。

3 厦门地区建筑垃圾产生量的估算[4]

建筑废料计算方法有:按建筑面积计算方法[8,9],按建设投资计算方法[10]和按人口计算方法[11]等。全国建筑垃圾的产生缺乏相关统计资料,为具体说明建筑垃圾的产生量,本文以厦门为例,进行实例分析。

厦门改革开放三十多年获得快速发展,城镇居民人均住

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net





图4 厦门厦港片区改造拆迁情况



图5 厦港片区

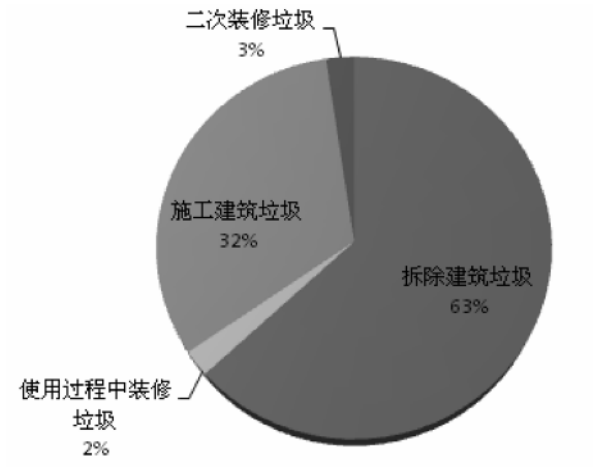



图6 2008 年厦门地区建筑垃圾构成情况

房建筑面积由 9. 26 平方米提高到 31. 92 平方米，农村人均住房面积由 17. 55 平方米提高到 46. 3 平方米。厦门岛内城市化水平高，岛内建设主要是旧村、旧街、旧片区、旧城改造，以及许多片区的综合改造。面临许多“城中村”改造问题[12] 以及老区更新、改造问题[13] ，大量已有房屋需要拆除，如厦港片区范围内的房屋（图 5）。

仅厦门岛内湖里区，2006 年拆迁房屋 93 万平方米；2007 年拆迁房屋 100 多万平方米；2008 年拆迁房屋 116. 8 万平方米，拆迁总量占全市一半；2009 年拆迁 261 万平方米，房屋拆迁占全市总量的 67% 以上，拆迁量创历史纪录[14] 。2009 年全市共拆迁房屋建筑面积 389. 91 万平方米[15] 。反映出厦门拆迁改造面积逐年增大的情况。

以拆除民用房屋建筑每平方米产生 1. 0 吨建筑垃圾估算，2009 年厦门全市产生建筑垃圾 389. 91 万吨。2009 年全市合计住房面积 63358314. 78 平方米。平均楼龄为 15. 4 年，按平均楼龄期有三分之一房屋进行再次装修估算，每平方米产生 0. 1 吨建筑垃圾，共计产生 13. 72 万吨。2008 年厦门房屋建筑施工面积 28454570 平方米，按每平方米生成 70 公斤建筑垃圾估算，施工产生建筑垃圾 199. 18 万吨。2008 年房屋建筑竣工 9660528 平方米，按二次装修平均每平方米生成 15 公斤建筑垃圾估算，二次装修产生建筑垃圾 14. 49 万吨。2008 年厦门全市合计产生建筑垃圾 617. 30 万吨，各个环节产生的建筑垃圾如图 6 所示，可以看出拆除和建筑施工过程中产生的建筑垃圾占较大的比重。

2008 年厦门全市水泥消耗量为 3978646 吨，按混凝土中水泥和砂石比例 1∶4 估算，2008 年砂石消耗量为 1591. 46 万吨。如果全部建筑垃圾用于替代砂石骨料，也仅仅能满足 38. 78% 的消耗量。

所以建筑垃圾再生利用有广阔的市场潜力和空间，在厦门这种土地资源紧张、城市改造速度很快、人口快速增加的地区，加强建筑垃圾再利用具有很强的现实意义。

## 4 建筑垃圾资源化管理的对策措施

西方发达国家对建筑垃圾的管理都很重视，都把建筑垃圾作为可再利用的资源进行管理。通过立法和经济措施，对建筑垃圾再利用进行规范、引导和鼓励，再利用率一般都达到 50% 以上，但具体做法因各个国家的自然条件和管理制度不同而各有特点，通过立法明确责任进行强制性管理是共同特点。从法规、政策、思路、经济、环境、社会等几方面综合考虑，采取综合管理措施实现再利用和资源化是有效的途径[4] 。

日本产生的建筑垃圾约 8200 万吨，占总垃圾量 4 亿吨的 20% ，1995 年建筑垃圾的再利用率达到 58. 3% ，2000 年提高到 84. 8% ，其中废弃混凝土的再利用率从 64. 7% 提高到 96. 2%[16] 。澳大利亚每年每人平均产生 1 吨固体垃圾，其中

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

16～40%是建筑垃圾，约50－80%的材料被重新利用或再利用，拆除的混凝土多被用于生产再生骨料。

从厦门地区建筑垃圾总量估算可以发现，特殊时期一个地区会集中产生大量的建筑垃圾。借鉴国外经验，结合厦门地区特点，考虑长期发展和短期措施，可以从以下几个方面逐步开展工作，实现建筑垃圾的资源化管理。

4.1 制定技术标准

针对不同城市的具体情况和经济条件，可以采用不同的管理手段和技术措施。首先依据国家的法律和法规制定具体的实施条例，规范建筑废弃物的产生、收集、处理和再利用等各个环节，明确各方责任和义务。从减量化、再利用、资源化等多个方面提出具体实施措施，保证建筑废弃物减排和再利用的实现，做到有序和规范。

如深圳市颁布的《建筑废弃物减排技术规范》(SJG21－2011)对建筑废弃物减排设计、减排施工管理和减排施工措施提出了具体要求。再利用、资源化等因城市不同，所采用的方式和产品也不同，需要制订相应的技术规程。《深圳市绿色再生骨料混凝土制品技术规范》包括了再生骨料混凝土小型砌块、再生骨料混凝土实心砖、再生骨料混凝土空心砖、再生骨料混凝土路缘石、再生骨料混凝土路面砖、再生骨料混凝土透水砖、再生骨料混凝土植草砖等混凝土制品。北京的地方标准《再生混凝土结构设计规程》(DB11－803－2011)针对框架、框架－剪力墙、筒体等多层和高层结构体系。上海的地方标准《再生混凝土应用技术规程》(DGT J08－2018－2007)涵盖了再生混凝土空心砌块、再生混凝土道路、再生混凝土构件等应用范围。这些规范和规程构成了从建筑废弃物产生源头到零排放的技术要求，实现减量、再利用、资源化等管理原则。

4.2 推动住宅一次性装修

推行商品住宅一次性装修，可规范家庭居室装饰装修市场，实现家庭居室装饰装修产业化；还可杜绝家庭居室装饰装修过程中，野蛮施工酿成的建筑物安全隐患；另外还能减少初装修与二次装修之间重复工作造成的人力、物力的资源浪费，避免因二次装饰装修时间差造成的不同用户之间的作息影响，消除由于二次装修而形成的空气粉尘污染源，更重要的一点是可减少大量的建筑垃圾；此外，商品住宅一次性装修和二次装修相比还会降低装修成本。厦门市自2010年4月起，岛内新批商品住宅项目必须实行一次性装修。同时已配套完善了相关政策，重新认定一次性装饰装修商品住宅的交房时限，并制定相应的家庭居室装饰装修验收标准及材料检测标准，以及制定家庭居室装饰装修的指导性造价定额[17]。

4.3 加强设计与施工管理

建筑施工具有周期长、资源能源消耗大、废弃物产生多等特点。要有效控制建筑施工垃圾的产生，一方面要进行现场文明施工和环境卫生管理，减少污染物的产生量和排放量、节约能源、降低消耗。另一方面要开展建筑垃圾源头管理，从设计、建筑施工以及施工管理这几个环节上做好材料控制、工艺选择以及教育培训等工作。建筑设计过程中对材料的选用要慎重，要综合考虑到建筑物的用途、所在地气候以及成本问题，选择板材、预制构件等。在施工过程中应尽量选择绿色建材，如商品混凝土、预拌砂浆[17]。

4.4 加大建筑废弃物综合利用的推广

建筑废弃物减量、再利用、资源化等涉及许多新的技术和问题，是转变发展方式的新要求，社会各界热情高，但参与的企业少、技术配套差，面临很多管理、设备、业务开展等新的问题。以城市建筑废弃物填埋场或大片改造区域为对象开展工程试点可以带动企业迅速成长，积聚社会各界力量实现快速转型。如厦门地区利用建筑渣土制造墙体材料综合利用项目，深圳塘朗山建筑废弃物综合利用项目就是就地绿色消化、再生利用的试点，而深圳南科大建筑废弃物综合利用项目采用现场处理的方法，实现零排放，都起到了很好的示范和推广效果。

4.5 促进建筑废弃物在结构新材料、新构件中的工程应用

结构新材料主要体现在高强度钢筋和钢板、高强混凝土或超高强混凝土、活性粉末混凝土或超高性能混凝土、工程纤维增强水泥基复合材料、再生混凝土等对已有材料的提升和新材料的开发，新构件主要体现在空心钢管混凝土、钢管再生混凝土、保温混凝土剪力墙、空心钢筋混凝土剪力墙等的研发。建造方式主要为预制装配整体式结构。采用绿色评价等指引方法促进建筑废弃物与材料、构件、建造方式等技术的结合和应用，建立专门技术规范进行有针对性的地方技术选择，促进建筑废弃物再利用的多种快速发展。

4.6 建立建筑结构可持续发展的技术标准提升建筑垃圾资源化水平

近年来可持续发展成为各类建筑工程发展的主题。许多国家和组织已经制订了建筑可持续评价体系和模型，较为流行的主观评价体系有英国的BREEAM和美国的LEED，客观评价模型有美国的BEES、加拿大的ATHENA、澳大利亚的LCAid、英国的ENVIST等。我国从节约资源、能源和保护环境的角度，制订了《建筑工程可持续性评价标准》、《绿色建筑评价标准》，突出了节约能源、节约和集约利用土地、节约用水、节约原材料以及保护环境。

工程结构作为建筑工程的主要组成部分，不仅消耗大部分资源而且在建造、使用及拆除的全部活动过程中占据主体，是建筑工程可持续性发展的重要组成部分。西班牙混凝土结构规范(the Spanish Structural Concrete Code，EHE－08 in Spanish)提出了整体价值可持续评价模型(The Integrated Value Model for Sustainability Assessment，MIVES model)评价混凝土结构的可持续性。在我国《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153－2008中也提出要使结构符合可持续发展的原则性要求。《混凝土结构设计规范》GB 50010－2010在结构方案中提出了应符合节省材料、降低能耗与保护环境的要求。正在修订的《钢结构设计规范》GB 50017要求结构体系

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选用应考虑节约资源。建立具体的建筑结构可持续发展的技术标准将有助于更广范围内解决建筑垃圾再利用，提升建筑垃圾资源化水平。

## 5 结语

城市的快速发展产生大量的建筑垃圾，建筑垃圾的产生伴随建筑施工、建筑装修和建筑拆除整个生命过程。对于城市化改造突出的地区，建筑施工和建筑拆除成为建筑垃圾的主要来源，具有时间集中、数量巨大的特点。我国同国外发达国家和地区一样，制订了针对建筑垃圾管理的法律法规，但建筑垃圾的再利用水平和管理措施需要进一步加强。特别是像厦门等全国低碳试点城市，从建筑垃圾再利用开始做起具有更加重要的示范和引导价值。

## 参考文献


[1] 建设部令第139号，城市建筑垃圾管理规定，2005年6月1日.

[2] 刘数华，建筑垃圾综合利用综述[R/OL]. http://scitech.people.com.cn/GB/25509/58105/118897/7089275.html.

[3] 吴贤国、李惠强、杜婷：建筑施工废料的数量、组成与产生原因分析[J]. 华中理工大学学报，2000，28(12)，96－97.

[4] 石建光，再生骨料对混凝土性能影响的试验研究和计算分析[D]. 上海大学博士论文，2010，3，11.

[5] 张建设、尹玉先、范秀兰、杜晓波，河南某城市建筑施工垃圾公害调查及对策分析[J]. 河南城建高等专科学校学报，2001，10(3)，15－19.

[6] 刘会友，房屋装修垃圾的危害与处置探究[J]. 中国资源综合利用，2005，(3)，24－27.

[7] 萧琴，建筑"短命"现象普遍 平均寿命仅为30年[J]. 楼市，2009，(14)，28－32.

[8] 唐沛，杨平，中国建筑垃圾处理产业化分析[J]. 江苏建筑，2007，(3)，57－60.

[9] Hsiao Y，Huang Y. T.，Yu Y. H.，Wernick I. K.，Modeling materials flow of waste concrete from construction and demolition wastes in Taiwan[J]. Resour. Pol. 2002(28)：39－47.

[10] Fatta D，Papadopoulos A，Avramikos E，Sgourou E，Moustakas K，Kourmoussis F，et al. Generation and management of construction and demolition waste in Greece—an existing challenge[J]. Resources Conservation and Recycling，2003(40)：81－91.

[11] Yost P. A，Halstea J. M. A methodology for quantifying the volume of construction waste[J]. Waste Manage Res. 1996(14)：453－61.

[12] 郑开雄，厦门"城中村"改造研究[J]. 现代城市研究，2005(11)，32－36.

[13] 赵晓波，复兴滨水区，构建精神港湾—厦门港片区更新与改造研究[J]. 现代城市研究，2008(6)，35－42.

[14] 湖里区人民政府工作报告[R/OL]. http://www.huli.gov.cn/NewsSpecialTopicShow.aspx? ClassId=1402&ClassDesc=政府工作报告.

[15] 厦门市国土资源与房产管理局2009年依法行政工作报告[R/OL]. http://www.mlr.gov.cn/tdzt/zhgl/yfxzgzbg/2009/201003/t20100318_141748.htm.

[16] 建設廃棄物の現状，http://www.pref.osaka.jp/kenshi/recycle/hithuyou.html.

[17] 林树枝，关于城市建设与城市管理若干问题的思考[J]. 福建建筑，2005(1).


(上接第9页)

两根试桩转换的结果曲线和传统静载曲线对比如图2所示，从2张对比图中可以看出：

(1) 同一根桩先做自平衡试验，后做传统静载试验两者结果曲线结果大致吻合，比对结果满意；

(2) 由于最后一级试验荷载下位移量较小，且上、下段位移量相差较大，15#桩仅转换至3653kN，18#桩仅转换至3617kN，造成此现象的原因是自平衡法试验预估荷载偏小，两种试验均未达到极限状态；

(3) 在小荷载作用下，自平衡法转换曲线相同荷载作用下的位移量较大，达到一定荷载后两者结果一致，超过该荷载后相同荷载作用下自平衡法转换曲线的位移量较小。

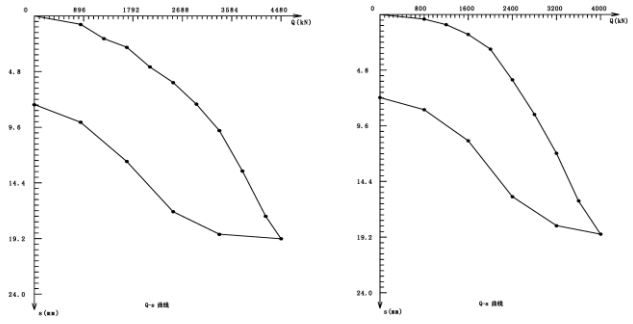


图2　自平衡法转换结果曲线和传统静载曲线对比图

## 6 结论

(1) 通过2根试桩自平衡法、高应变法以及传统抗压静载试验的综合比对，自平衡法与传统抗压静载试验所得出的承载力误差较小，等效装换Q－s曲线与抗压静载Q－s曲线接近。自平衡法与高应变法关于端阻力的测试误差较小，而摩阻力的测试误差是源于承载力时效性的问题。因此自平衡测试方法完全可以适用于福建地区预应力混凝土管桩的承载力测试。

(2) 本次试验彰显自平衡法在测试中的优势，相对于传统静载荷试验，其省时省力、经济快捷，可以大大节约工期；与高应变法试验的结果可互相验证，有助于对基桩承载性状的研究并可用以估算土体强度的恢复系数。

## 参考文献


[1] 中国建筑科学研究院. JGJ 94－2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2008.

[2] 中华人民共和国建设部. JGJ106－2003 建筑基桩检测技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2003.

[3] 江苏省技术监督局，江苏省建设委员会. DB32/T291－1999 桩承载力自平衡测试技术规程[S]. 南京，1999.

[4] 龚维明，蒋永生，翟晋. 桩承载力自平衡测试法[J]. 岩土工程学报 2000，22(5)：532～536.


© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net