

汶川地震后建筑垃圾再利用途径探讨

石建光¹ 邓华¹ 林树枝^{1,2}

(1 厦门大学土木工程系 361005; 2 厦门市建设与管理局 361003)

摘要:四川汶川大地震带来巨大量的建筑垃圾成了重建工作的巨大障碍, 建筑垃圾的科学合理、及时处理关系到灾区重建能否顺利进行, 更是保证灾区生态环境和社会可持续发展的重要组成部分。基于灾区 建筑垃圾处理的重要性本文探讨了建筑垃圾再利用途径, 分析了各种途径所产生的效益。

关键词: 地震 建筑垃圾 重新利用 再生利用 再生利用途径

中图分类号: TU 528 09

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2008)11-0027-05

Discussion on Recycling and Reusing way of building waste left by Wenchuan Earthquake

Jianguang Shi¹ Den Hua¹ Lin Shuzhi^{1,2}

(1 Department of Civil Engineering, Xiamen University 361005; 2 Xiamen Construction & Administration Bureau 361003)

Abstract: A huge amount of building waste was left after Wenchuan earthquake. A barrier which meets us is how to handle this horrible solid waste. In this paper, According to some positive results and experience home and abroad in studying and reutilizing building waste, some reusing and recycling methods on building waste are illustrated and the efficiency achieved are analyzed.

Keywords: Earthquake Building Waste Reuse Recycle Recycling Way

1 引言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 四川汶川发生里氏 8.0 级特大地震。汶川大地震是新中国成立以来波及范围最广, 灾害损失最大的一次灾害地震。根据中国地震局 2008 年 8 月 29 日最新公布的汶川地震烈度图(如图 1)显示, 本次地震烈度在 VI 度以上的面积为 440442km², 中心烈度达到 XI 度, 仅重灾区和极重灾区县市就打 51 个, 遇难人数 69222 人, 受伤 374638 人, 失踪 18176 人, 大量的建筑物和基础设施被毁, 造成直接经济损失达 8437.7 亿元。

据统计资料显示, 本次地震造成居民住房倒塌的面积达到 12597.5 万 m², 严重受损房屋 15268.4 万 m², 损毁公路里程 34125km。经估算, 汶川大地震后产生的建筑垃圾可达 6 亿 t。以建筑垃圾堆积密度 1.5t/m³ 计算, 建筑垃圾总体积可达 4 亿 m³。如果全部采用直接填埋或堆放这样的传统处理方式来处理这些建筑废墟, 假设堆放成一个高度 5m 平面为矩形的垃圾体, 则处理这些建筑垃圾将占用的土地面积达到 8000 万 m² 约合 12 万亩的土地。可见, 采用处理填埋、露天堆放等传统的处理方式将带来巨大土地资源的损失。同时直接填埋和堆放建筑垃圾将造成巨大的资源浪费, 因为建筑垃圾本身就含有大量的可直接重新利用或者可再生利用的材料。更甚者堆放或填埋的建筑垃圾会危害我们的生存环境, 如污染水体、土壤甚至大气。自然界本没有绝对的废物, 建筑垃圾也是资源, 应当充分利用, 比如日本国土面积小, 资源相对匮乏, 因而将建筑垃圾

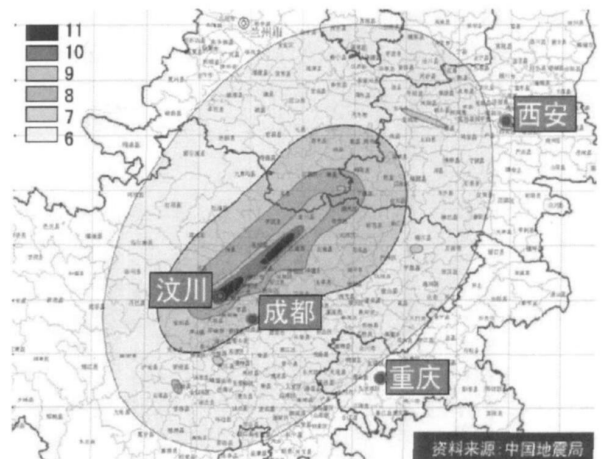


图 1 汶川地震烈度分布图

定义为建筑副产品, 这是一个很好的定义, 为建筑垃圾摆脱“废物”帽子。既然是资源, 在处理建筑垃圾时就应当充分研究, 想方设法寻找再利用途径, 努力提高建筑垃圾的再利用率, 这将会大大缓解灾区处理建筑垃圾的压力, 同时又能取良好的社会、环境和经济效益。

2 地震后产生的建筑垃圾的组成

地震后, 尽管不同的结构类型、不同用途的建筑物倒塌损毁所产生的建筑垃圾的各组成成分的含量不同, 但其基本组成成分是一致的, 其组成类似于建筑物拆除工过程中所产生的建筑垃圾的成分。地震后建筑垃圾主要包括建筑物倒塌或严重损毁必须拆除后所产生的废混凝土块体或者损坏的钢筋混凝土构件、倒塌墙体(包含砖块、砂浆和石膏等面层抹灰材料)、废塑料、废钢筋(钢材)及有色金属材料(如铝合金材料)、废木材、



作者简介: 石建光, 1962 年出生, 男, 教授, 主要从事混凝土及其结构性能研究。

收稿日期: 2008-10-22



图2 汶川震后倒塌现场

废瓷砖、碎玻璃等。图2是四川汶川大地震后倒塌的建筑废墟图片,从图片中我们能够大致看到建筑垃圾的组成成分。据我国学者肖建庄^[1]等对灾区的现场调查,得出重灾区房屋受损情况如下表1所示:

表1 四川地震后灾区房屋受损情况

房屋建成年代	上世纪70年代	上世纪80年代	上世纪90年代	2000年后
受损情况	基本倒塌	部分倒塌,部分失效	部分受损严重,部分尚可使用	轻微受损

从上表可看出地震中倒塌的房屋大多数在上世纪90年代以前建成,那时候的房屋结构在城市大多是砖混结构,农村一般以砖混、砖木、土木结构等混合结构为主,主要的建筑材料是烧结粘土砖和混凝土。这些结构本身抗震性能差,而且当时的房屋的施工水平低,建筑质量差,所以倒塌损毁也最为严重。根据我国《建筑施工手册》(第2版,1988)^[2]中单位建筑面积的建材用量,假设房屋均按混合结构来考虑,则倒塌废墟中各成分占百分率大致如图3所示。考虑到损毁的公路等基础设施主要成分是混凝土,可以肯定废混凝土、废砖是汶川地震建筑垃圾的主要成分。

3 震后建筑垃圾再利用途径

地震产生的建筑垃圾中主要成分是废混凝土和废砖,这两种材料的回收绝大部分是需要利用大型的机械设备和复杂处理工艺进行再加工制成可使用的原材料(简称再生材料)的。但是,垃圾中也包含很多不需要再加工或只需稍加清理和简单加工就可以直接重新利用的材料。所以在讨论再利用途径时,分为直接利用(reuse)和再加工处理后利用(recycle)。

3.1 直接利用(reuse)

直接利用垃圾中的材料不需要复杂的工艺、大型的机器,

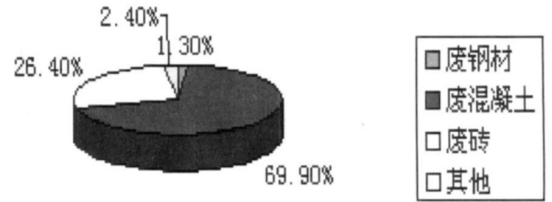


图3 建筑垃圾的组成

只需要依靠人工或者再配合简单的工具就能将这些材料直接分离出来,整理干净就能再用,所以直接利用是最简单、最直接的利用途径。

3.1.1 砖砌块的重新利用

本次汶川地震造成农村地区居民住房倒塌超过1亿m²,农村地区大量用的是烧结粘土砖,倒塌的墙体中就有很多完好的砖块。如果将这些砖块分离出来,清理表层附着的砂浆后,可直接用于砌筑新的房屋,即节省了部分购买新砖的费用,又保护了土地资源。直接利用未破坏的砖进行大量的应用的例子可追溯到二战结束后的德国,其战后重建过程中就从墙体废墟中清理出了大量的砖块用于重新砌筑^[11,13,14]。

3.1.2 废木料的重新利用

木材也是可以直接利用的材料,又可保护林木资源。未受损伤的木材可以直接重新用作构件,如在汶川地震中大量的木结构名胜古迹被破坏,修缮过程中就可直接利用这些木材;也可制成其他产品,如作为家具、工艺品。其他废木料可以用作造纸的材料或者用作燃料,或者切成薄片压制成木板。日本的木结构建筑多,因而每年处理的建筑垃圾中废木料占了相当的量,其处理木废料的典型过程如图4所示:图中左边是废木料堆场,右边是废木料被切成薄片。由于加工成本高,所以在日本废木料一般被当作燃料用来发电等。



图4 日本木废料处理

直接利用建筑垃圾的途径固然简单,但要求在此之前要对垃圾进行分类。表面上看垃圾分离耗用了大量的人力和时间,但是却降低了后期利用的难度,而且能够提高废料的利用率,因为成分复杂的建筑垃圾是很难进行直接利用的。

3.1.3 直接用作回填材料

利用建筑垃圾作为回填材料工序简单,处理量大,可以在短时间内处理大量的建筑垃圾,前提是垃圾要保证进行无害化处理,如挑选出有机污染物,否则会造成二次污染。回填建筑垃圾可以用来造地,尤其适合四川地震灾区一些地形狭长,土地面积小的地区。其次,废混凝土、废砖等固体无机废料可以作为夯扩桩的填料,文献^[3]介绍了邯郸市某工程采用建筑垃圾夯扩桩施工实践。工程实践表明对比沉管灌注桩,建筑垃圾夯

扩桩不仅节约造价,而且单位体积的承载力高。

3.2 再生利用(recycle)

回收可直接利用的材料毕竟是非常有限的,要提高建筑垃圾的利用率必须依靠再生利用,通过研究垃圾中各成分的物理化学性质,研发加工处理工艺和机器设备,努力开发各种再生材料,是垃圾减量化资源化的关键。

3.2.1 利用建筑垃圾中的废混凝土和废砖制备再生骨料

建筑垃圾中主要的成分是混凝土和砖,经过层层破碎,可以制成各种粒径的骨料。碎废混凝土破碎产生的骨料为再生混凝土骨料;碎砖破碎产生的骨料成为再生碎砖骨料;二者若是垃圾分类困难,直接将混凝土和废砖一起破碎而成的骨料成为再生混合骨料。目前,在循环利用建筑垃圾这一研究领域,国内外有关利用建筑垃圾制备再生粗、细骨料的文献最多,取得了相当丰富的成果,并且在实际工程中应用的案例也较多,可以说就目前看来用建筑垃圾制备再生骨料是建筑垃圾再生利用诸多途径中最为成熟的一个。

(1) 制备再生混凝土

再生混凝土是指利用废混凝土破碎加工而成再生集料,部分或者全部代替天然集料配置成新的混凝土。从上个世纪 70 年代末开始,美国、日本、德国等发达国家在再生混凝土开发应用方面进行了大量的研究,并将研究成果应用于实践工程中,目前这些发达国家的废弃混凝土的再生利用率均在 90% 以上^[4]。我国在再生混凝土的研究尚处于起步状态,随着我国建设步伐的加快,基础设施建设所产生的建筑垃圾已经成为一个严重的社会问题,人们也越来越重视再生混凝土的研究与应用。近年来,国内许多专家学者在再生混凝土领域展开了大量的研究,已经取得了许多成果。石建光、许岳周^[5]等人在利用建筑垃圾生产再生混凝土力学性能方面进行了相关实验研究,验证了利用建筑垃圾制备再生混凝土及混凝土砌块技术可行性;刘树华、冷发光^[6]在再生混凝土领域也做相当全面的研究,取得了一定的成果。我国学者肖建庄^[4]对废弃混凝土骨料的制备、再生混凝土配合比及基本力学性能等方面做了大量的研究,推动了我国再生混凝土的研究与应用的发展。上海市制定了我国第一本关于再生混凝土技术的地方性标准《再生混凝土应用技术规程》(DG/TJ08-2018-2007)并于 2007 年 7 月 1 日开始执行。

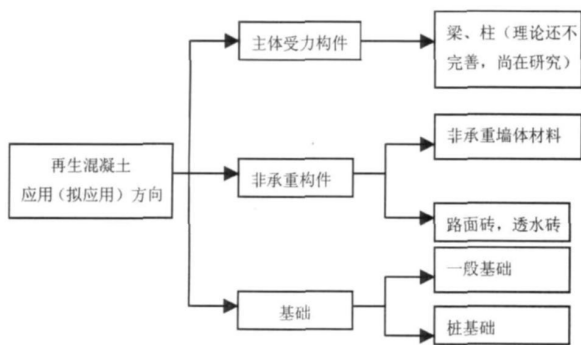


图 5 再生混凝土应用方向

再生混凝土主要运用方向如图 5 所示。基于再生骨料孔隙率大,制成的再生混凝土导热系数小,热工性能优越,并且自重相对轻等优点,其非常适用于非承重填充墙材料。再考虑到

墙体材料是长线产品,工程需求量大,而且我国又禁止使用传统的浪费土地资源的粘土砖这两个因素,可以肯定,用再生混凝土制作填充墙砌作为新型的墙体材料肯定有很大的前景。据初步估计本次汶川大地震重建中仅新建房屋的面积就达 2.6 亿 m^2 ,若以每平方米用标准砖 200 块计,则需要生产 520 亿块标准砖。预测 120 元/千块,则产值可达 62.4 亿元,经济效益相当可观,同时,与实心粘土砖相比,使用再生混凝土制 520 亿块标准砖可减少取土 4160 万 m^2 ,节约耕地和堆放垃圾场地近 6 万亩;若在重建规划中合理规划建立再生砖厂又可解决灾区就业压力,可见其所带来的经济、环境和社会效益相当可观。

(2) 再生骨料用于道路基层、垫层

再生骨料用于道路基层是比较普遍的现象。在美国、日本和德国这些发达国家的高速公路历史较长,每年翻修路面都会产生大量的废沥青混凝土,他们处理这些废料的主要做法就是将废沥青混凝土板或者块体破碎成骨料用作重建道路的基层材料。这些国家研发出自行式骨料破碎机可进行现场破碎,然后直接在现场利用。这样做既可减少废料外运、处理和新材料运进的运输费,又可减少对作为基层材料的天然沙、石等自然资源,具有良好的经济和环境效益。就目前废沥青混凝土的回收利用主要有两种方法^[7]:冷浴回收和热熔回收两种,前者是将废沥青混凝土粉碎后制成的骨料铺在下层,然后在其上铺设新的沥青混凝土路面;后者是将再生骨料做为部分骨料掺入新沥青混凝土中。我国也有再生骨料用于道路基层并取得良好效益的成功例子,文章^[8]介绍了废弃混凝土路面板制成的再生骨料用于河南开封的开兰公路改建工程和 310 线开封过境工程的铺筑,经过数年的行车使用,其性能表现良好。

本次四川汶川地震造成的公路损毁里程达到 34125km,以道路平均宽度 9m,路面板厚 0.24m 计,公路损毁产生的废混凝土约为 1.84 亿吨。假设回收利用率能达到 60%,则在重修路面过程中可以制成药 1.10 亿吨的道路基层材料,以每吨基层材料 20 元计,产值达到 22 亿元。若是能够在现场铺筑过程中应用移动式破碎机破碎废混凝土,又可以节约外运、填埋这些废混凝土的费用。可见,在道路重建过程中如果能合理、充分地利用再生骨料,将取得巨大效益。

(3) 再生骨料可用作水泥混合材

建筑垃圾的主要化学成分如图 6 所示。从图中可以看出氧化硅和氧化铝的含量较高,这些成分正是火山灰质混合材料的主要成分。所以为了能够全成分地利用建筑垃圾,提高其再利用率,而且建筑垃圾磨碎后产生的粉料具有火山灰性质,这些粉料完全可以用作水泥的混合材。赵鸣、吴广芬^[9]对建筑垃

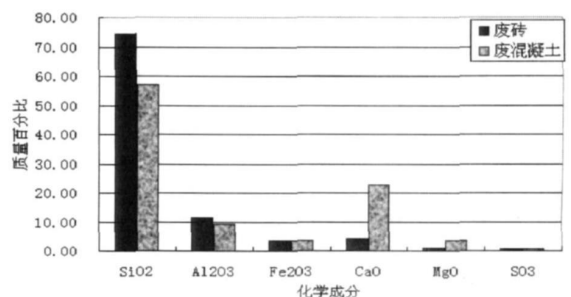


图 6 建筑垃圾中主要化学成分含量

圾用作水泥混合材进行试验研究,试验表明:当废砖或者废混凝土掺量小于15%时可以生产425R或者425普通硅酸盐水泥,并且以硅酸钠作为激发剂时能够激发以废砖为主的建筑垃圾的火山灰性,用量0.8%废砖或者废混凝土掺量20%也能达到425普通硅酸盐水泥的强度要求。

(4)再生烧结砖骨料可用于制备轻质混凝土砌块和绿化造景

墙体废料破碎而成的再生烧结砖骨料的表观密度比再生混凝土骨料还低,热工性能非常良好,是很好的轻质骨料,可用于轻型墙体和屋面材料。孙亚东等^[10]利用墙体碎砖,经过破碎、分级后,同水泥、粉煤灰、煤渣按一定比例混合制备混凝土小型空心砌块,研究结果表明:再生碎砖生产强度等级为3.5级的轻集料混凝土小型空心砌块满足标准要求。德国就利用回收的墙体材料生产轻质混凝土砌块,并颁布了标准,如根据DIN 18151可生产轻质混凝土空心砌块。同时,因为这些骨料本身多是土壤成分含有植物生长的营养,而且又是多微孔结构,这些孔隙能够储存植物生长所需要的水分和养分,利于植被生长,所以再生烧结砖骨料可用于绿化种植^[11]。西欧的研究表明烧结砖瓦废料颗粒作为屋顶绿化种植的垫层材料的适应性很好。汶川地震造成了大量的市政交通设施损毁,在城镇重建过程中,道路两旁的绿化、公园等休闲设施的绿化、新建工程周边的绿化带工程量大,耗费植被土多,如果能用烧结砖骨料作为植被土,一方面减轻了建筑垃圾处理压力,另一方面又能保证植物的生长,具有很好的生态效益。

(5)再生混合骨料可用于生产路面砖

据日本、德国等发达国家的成功回收案例分析,认为要提高建筑垃圾的再利用率,在垃圾被加工之前必须经过很好的分类,尽量能够分离出各成分。但是,很多时候由于建筑垃圾的两种主要成分:混凝土块和砖砌体碎块自重大,分离困难。所以在破碎后产出的骨料是混凝土和砖两种混合而成的。由于这种混合骨料制成的混凝土性能较低,应用有限,主要可考虑用于生产路面砖。针对建筑垃圾中各成分对混凝土性能的影响,石建光、周清长^[12]进行了归纳分析,对实际应用这些混合骨料有一定指导意义。

3.2.2 利用废弃混凝土生产水泥

利用废弃混凝土制备再生水泥的研究成果较少,属于再生利用高技术领域。但也有成功的例子,如韩国一家装修公司就开发出从废弃混凝土分离水泥的技术,据称这种再生水泥生产过程中不产生二氧化碳,强度与普通水泥一样,而生产成本比原生水泥低,已在韩国申请了专利^[7]。众所周知,水泥行业属于高耗能、重污染工业,灾区在重建过程中必然耗费大量的水泥,若能从废弃混凝土中提取水泥用于再生产,其效益也是相当大的。

3.2.3 废钢材及废金属材料回炉制成再生金属材料

在建筑垃圾诸多成分中废钢材及废金属材料的回收较为简便,回炉加工这些金属材料制成再生材料的工艺已经很成熟,所以这些废料的利用率非常高。日本每年的废钢材及其他废金属材料超过800万吨,回收利用率是100%,并且回炉制成的再生金属制品占了金属材料市场份额的30%。据估计四川汶川大地震后房屋倒塌产生的废钢量为135.45万吨,按回收利用90%,设处理每吨废钢材成本1500元计,预测再加

工后的钢成品售价4000元/吨计,可收入30.5亿元,同时可减少对天然铁矿资源的开采以及开采过程的耗费,经济和环境效益明显。

3.2.4 废塑料再生利用

塑料为合成的高分子化合物,可以自由改变形体的多样性,是利用单体原料以合成或缩合反应聚合而成的材料。近十多年我国的塑料再加工行业的加工工艺日趋成熟,加工能力越来越大,塑料加工企业发展迅猛。有专家估计我国塑料再利用率超过70%。在我国,废塑料瓶就是一个典型的例子,它可被加工成涤纶短纤维。北京奥运期间,北京奥运村向各代表团成员免费发放的特殊T恤衫,就是用这种纤维再补充一些绵纤维制成的。在日本,回收降解PVC材料的工厂就超过50家,使得PVC废料的年回收利用率达到50%以上。埃及也正在制定塑料垃圾回收再利用计划,近年来,埃及废弃的塑料制品达85亿吨以上,价值10亿美元。目前,基于作为生产塑料制品的主要原料—石油的涨价,我国乃至全世界对从废塑料中获取再生资源的需求越来越大,可以预计,在本次四川地震后,从废塑料的再利用中取得一定的经济效益是可能的。

4 结语

四川汶川大地震产生的庞大的建筑垃圾量几乎等于目前全国每年建筑垃圾的产量,更重要的是这些建筑垃圾集中在44万平方公里的灾区。如此庞大的垃圾量确实是灾区重建的巨大障碍,但是,我们更应该看到建筑垃圾所蕴涵的资源是巨大的,而且这些垃圾很集中,方便统筹管理。基于此,文章探讨了建筑垃圾再利用的数种途径,分析认为这些途径所产生的社会、经济和环境效益是相当可观的。再利用是一个系统工程,在重建过程中应当从整体把握,建立建筑垃圾基本资料(如种类、数量、分布情况、利用途径)数据库,为规划建设垃圾回收处理加工厂、建立再生材料交易市场以及政府部门指定相关政策提供指导,努力在本次地震灾区形成一个较为完善的建筑垃圾产业链,作为今后在全国范围内处理建筑垃圾的示范,我们相信处理汶川地震后的建筑垃圾会是一个推动国内建筑垃圾研究与应用的契机。

参考文献:

- [1] 肖建庄,雷斌,王长青.汶川地震灾区建筑垃圾资源化利用[A].首届全国再生混凝土研究和应用学术交流会议论文集[C].2008.7:63-67.
- [2] 建筑施工手册编写组.建筑施工手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,1988.
- [3] 李巨文,常洪信,郭总理.采用建筑垃圾夯扩桩处理软弱地基的设计与施工[J].建筑技术,2002年第3期.
- [4] 肖建庄.再生混凝土[M].北京:中国建筑工业出版社,2008年6月第一版6-7.
- [5] 许岳周.再生骨料混凝土级配对接强度的影响研究与数值模拟[D].厦门:厦门大学建筑与土木工程系.
- [6] 刘数华,冷发光.再生混凝土技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2007年1月第一版.

(下转第10页)

中。尚存官式大厝、洋楼和骑楼等多种形式,虽建成的年代各不相同,但其墙身绝大多数是以胭脂砖砌筑的。古城中的公共建筑,如开元寺建筑群、文庙建筑群、天后宫建筑群、承天寺建筑群和威远楼等,也均以红砖加身。时至今日,“泉州红”的建筑风格在城市街区中仍随处可见,使得泉州民居建筑特色鲜明,表现力极强。不仅古民居如此,当代新建筑中也多以特制的胭脂砖饰面,古色古香;有的建筑则用色泽接近的饰面砖代之,重在写意。以红砖为主色调饰面的泉州新街区,与整体古城风貌是和谐统一的^[7]。

泉州传统建筑的细部特征也是其地域特色的集中体现。泉州传统民居中展示独特地域特色的建筑符号之一便是其坡屋顶形式和细部装饰。闽南红砖大厝的屋顶正脊曲翘反宇,中间低平,呈露宋代曲线屋顶的传统意味。其中燕尾脊用于主厝,作坡屋面两侧收尾的强调处理,轻巧而又不失庄重;马鞍背用于护厝,与燕尾脊交相呼应,配以悬山、硬山,几段式的构图,高低不同的错落,轮廓线分明。在建筑细部方面,泉州自古便以各种建筑材料的雕刻工艺精致闻名于世,民居建筑中青石的透雕、漏雕、圆雕、浮雕图饰和精美绝伦的砖雕、木雕工艺,建筑艺术精深,地域特色显明^[9]。



图9 北门街的坡屋顶组合整体效果

5.3 北门街改造中传统建筑符号的运用

北门街改造后,清水砖和花岗石饰面在整体街区中占主导地位。传统的建筑材料、施工工艺与现代的建筑技术相结合,满足了使用者对现代生活的需求,大量砖雕、石雕和木雕的使用又在建筑形式上保留传统建筑的特色。

街区坡屋顶的组合方式显示出了对传统建筑符号的创新精神。燕尾脊和马鞍背这两种传统坡屋顶形式被大量延用于

沿街建筑中,设计中摒弃了闽南红砖大厝传统制式单一的组合模式,而是将两种屋顶形式作为特定的建筑符号提取,结合建筑的立面高差、朝向的变化和具体的退让关系,变换中搭配使用。两种坡屋顶的主次关系也被相应忽略,根据建筑实际形体交替使用,使整个街区建筑的立面更加错落有致,丰富了街区天际线(图9)。同时整体街区屋顶形式的有序更迭,又进一步增强了街区建筑的统一性和韵律感。特别是在夜间景观照明灯中,街区屋顶的层次变化给人以一种很直观的视觉美感。

6 结语

对北门街改造工程的评析,我们认识到历史街区改造从街区的外部空间整体性入手进行建筑单体设计的重要性。通过整体建筑群的规划来展现街区空间的丰富变化;通过运用提炼的传统建筑符号和材质、色彩等特点来提高新建筑的文化认同感,从而达到保护城市历史风貌的目的。北门街改造工程在保存泉州传统建筑特色的基础上,既整合了泉州的旅游文化资源,提高了旧街区的商业价值,又改善了周边居民的居住环境质量,为泉州古城保护提供了一个优秀的实例。相信经过不断的探讨和尝试,泉州历史街区改造与更新的步伐将越来越稳健。

参考文献

- [1] 陈力. 旧城更新中城市形态的延续与创新[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 1997(1): 58~61.
- [2] 王碧清, 钱晓青. 泉州东街片区改造设计——激发乡土活力 创建名城新姿[J]. 建筑学报, 1999(4): 50~52.
- [3] 孙凤岐. 广场·公园·街道——泉州旧城中心区城市与环境设计研究[J]. 建筑学报, 1998(3): 16~19.
- [4] 林劲松. 泉州古城保护与更新的多元化策略[J]. 规划师, 2004(4): 36~39.
- [5] 阮仪三. 历史文化名城保护规划与理论[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999: 145~149.
- [6] 关瑞明. 住宅的类设计模式——中国传统居住文化的延续与创新[J]. 建筑学报, 2000(11): 40~41.
- [7] 关瑞明. 泉州多元文化与泉州传统民居[D]. 天津: 天津大学, 2002.
- [8] 张千秋. 泉州民居[M]. 泉州: 海风出版社, 1996: 126~260.

(上接第30页)

- [7] 黄世谋, 何廷树, 李国信. 建筑废料的再生利用研究[J]. 混凝土, 2006年第5期: 30~34.
- [8] 张超. 废弃混凝土路面板在道路改建中的再利用[J]. 交通运输工程学报, 2003(4).
- [9] 赵鸣, 吴广芬. 不同建筑垃圾做水泥混合材的试验研究[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 第21卷第2期, 2008: 4.
- [10] 孙亚东, 曹玉书, 朱志强. 再生碎砖轻集料混凝土小型空心砌块配合比试验研究[J]. 新型墙材, 2008年第5期: 26~28.
- [11] 路关生, 湛轩业. 建筑废料回收利用的新途径[J]. 砖

瓦, 2004年第7期: 68~74

- [12] 石建光, 周清长. 建筑垃圾中不同组成材料对混凝土性能的影响[J]. 混凝土, 2008年第6期: 11~13.
- [13] Hansen, H. A method for total reutilization of masonry by crushing, burning, shaping and autoclaving[J]. Demolition and Reuse of Concrete RIL EM 1994, s. 407~414.
- [14] Van Dijk, k; Fraaij, A.; Hendriks, CH. F.; Mulder, E.; Van der Zwan, J.; Recycling of Masonry Debris as a Raw Material in the Ceramic industry, Sustainable Concrete Construction, Proceeding of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK, September 2002, s. 290~350.