

再生混凝土 基本性能与工程应用

ZAISHENG HUNNINGTU JIBEN XINGNENG YU GONGCHENG YINGYONG

古松 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

非外借

再生混凝土基本性能与工程应用

古 松 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

再生混凝土基本性能与工程应用/古松著.—武汉:武汉大学出版社,2019.3

ISBN 978-7-307-20766-0

I.再… II.古… III.再生混凝土—研究 IV.TU528.59

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第036535号

责任编辑:李晶 责任校对:周卫思 装帧设计:王丽君

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮箱:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:720×1000 1/16 印张:10.5 字数:206千字

版次:2019年3月第1版 2019年3月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20766-0 定价:78.00元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

建筑垃圾是在对建筑物实施新建、改建、扩建或者拆除过程中产生的固体废弃物。随着城市化进程的不断加快,城市中建筑垃圾的产生和排出量也在快速增长。人们在享受城市文明的同时,也在遭受城市垃圾所带来的烦恼,其中建筑垃圾就占有相当大的比例,占垃圾总量的 30%~40%,因此如何处理和利用越来越多的建筑垃圾,已经成为各级政府部门和建筑垃圾处理单位所面临的一个重要课题。

废弃物资源化国家工程研究中心在对城市城中村改造中建筑垃圾的问题进行深入调查后认为,自 2007 年以来,各大城市建筑垃圾呈现出数量巨大、产生周期集中等新特点,要改变建筑垃圾现状主要还是采取回填、填埋和露天堆放为主的方式,急需新的处理渠道,以科学、经济、有效的方式进行建筑垃圾资源化处理。

对于庞大的建筑垃圾,各城市以资源化处理为主,工程弃土将以回填、复垦、覆土绿化为主,逐步降低以回填和填埋方式处置建筑垃圾的比例,以新型的资源化处理基地替代传统的消纳场。以云南省昆明市为例,2012 年已建成 2 个工艺水平、装备水平和管理水平先进的建筑垃圾规范化处理示范工程,主城 4 区各建成一个过渡性建筑垃圾处置场并投入运营,完成全市建筑垃圾资源化处理项目的生产力布局。初步实现全市建筑垃圾处置率达 100%、资源化利用率达 95%。

建筑垃圾中体量最大的混凝土、砌块等固体废弃物经分拣、剔除或粉碎后,大多是可以作为再生资源重新利用的。其主要再生方式有:①利用废弃建筑混凝土和废弃砖石生产粗细骨料,可用于生产相应强度等级的混凝土、砂浆或制备诸如砌块、墙板、地砖等建材制品。粗细骨料添加固化类材料后,也可用于公路路面基层。②利用废砖瓦生产骨料,可用于生产再生砖、砌块、墙板、地砖等建材制品。③渣土可用于筑路施工、桩基填料、地基基础等。④废弃道路混凝土可加工成再生骨料用于配制再生混凝土。⑤废旧砖瓦为烧黏土类材料,经破碎碾磨成粉体材料后,具有火山灰活性,可以作为混凝土掺合料使用,替代粉煤灰、矿渣粉、石粉等。上述处理方式的基本原理均为将建筑固体废弃物进行破碎、分选、重新级配后形成再生集料。通过物理或化学手段进行处理后,重新作为混凝土或砌体材料的制备原材料。因此,将其统一称为再生骨料(集料)混凝土。

由于再生骨料受产地、原始强度、龄期以及生产条件等影响,组分中含有相当数量的水泥砂浆,致使再生骨料孔隙率高、吸水性大、强度低。这些都将导致所配混凝土拌合物的流动性差,混凝土收缩值、徐变值增大,抗压强度偏低,使得再生骨料产品性能具有很大的不稳定性,限制了该类混凝土技术和产品的推广应用。针对以上需求,本书系统地开展了关于再生混凝土原料制备、配合比设计、结构性能等方面的试验研究,结合本地区混凝土再生骨料的应用条件,分别从基本性能测定、设计理论和方法,以及实用新产品的开发和应用等三方面展开研究。主要内容如下:

(1)作为再生骨料应用的基础研究,对再生骨料及不同取代率再生混凝土的基本物理性能进行了对比试验研究。测得了四川地区再生骨料的吸水率、含水率、表观密度、堆积密度和压碎指标等参数,探讨了骨料粒径、级配、原生混凝土强度等因素对骨料性能的影响;采用正交试验方法,进行了 C30 强度再生混凝土的配合比设计参数比选,探讨了颗粒级配、外掺料、水灰比等对混凝土和易性与强度的影响,确定了再生混凝土的基准配合比;通过对比试验,测得 50%、70% 和 100% 三种取代率的再生混凝土不同龄期(3~28d)的立方体抗压强度,推定了不同龄期和取代率的再生混凝土的强度公式;采用回弹法和超声回弹法对 78 组试块进行了强度无损检测,与普通混凝土的测强曲线进行对比,给出了修正建议。

(2)结合四川地区民房建设对墙材的需求,开发了利用再生骨料加工保温空心砌块的生产技术。采用理论分析和有限元分析方法,考虑保温和承重两方面要求,对空心砌块的开孔方式进行优化,使砌块既满足国家墙体节能标准又具有较高承载能力;完成了系列无配筋墙片的低周反复水平荷载试验,研究了保温空心砌体在低周反复水平荷载作用下的抗剪承载力、破坏形态、滞回特性、骨架曲线等性能,分析了影响砌体抗震性能的主要因素。

(3)针对配筋再生混凝土的黏结性能可能降低的问题,采用中心拔出试验方法,得到不同类型组合钢筋与混凝土的黏结滑移曲线。探讨了再生骨料取代率,钢筋形状、直径、锚固长度、保护层厚度以及配筋和外掺料等对黏结性能的影响;获得了黏结强度沿锚固长度的变化曲线,并求出拟合公式;借助有限元方法,分别采用接触单元方法和非线性弹簧对钢筋与混凝土的黏结滑移关系进行模拟,对比了两种算法的优缺点,提出计算建议。

(4)对再生混凝土在现浇板构件中应用的可行性进行对比试验研究。制作了多组块 30% 取代率的再生混凝土板和两块普通混凝土板。采用两点加载方式进行了抗弯性能试验,测得了普通混凝土和再生混凝土板的开裂荷载、开裂挠度、极限荷载及挠度等参数;对再生混凝土板进行了不同卸载条件的碳纤维布加固修复,比较加固前后构件的承载能力和变形情况,观察不同加固条件下构件的破坏模式,

探讨了用粘贴碳纤维方式加固再生混凝土的受弯构件的使用条件。

本书撰写过程中,得到了西南科技大学王汝恒教授、姚勇教授、陶俊林教授、贾彬教授、褚云鹏副教授的支持和帮助。武汉大学出版社在本书出版过程中给予了热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

古 松

2018 年 12 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 再生混凝土的产生背景	(1)
1.2 国外再生混凝土发展现状	(2)
1.3 国内再生混凝土研究现状	(5)
1.3.1 再生骨料生产流程	(6)
1.3.2 再生骨料性能研究	(7)
1.3.3 再生混凝土构件基本性能	(11)
1.4 再生混凝土研究中存在的主要问题	(13)
2 再生骨料及再生混凝土基本特性	(15)
2.1 骨料制备和评价	(15)
2.1.1 骨料生产工艺	(15)
2.1.2 再生骨料基本性能	(15)
2.1.3 评价分级方法	(20)
2.2 再生混凝土制备	(23)
2.2.1 配合比设计	(23)
2.2.2 再生混凝土性能及影响因素分析	(24)
2.2.3 早龄期强度推定	(27)
2.3 再生混凝土强化	(29)
2.3.1 影响再生混凝土强度的因素	(29)
2.3.2 再生骨料改性方法	(29)
2.3.3 超细粉煤灰对骨料的增强效果	(32)
2.4 再生混凝土无损检测	(35)
2.4.1 试件的制备	(36)
2.4.2 测试方法	(36)

2.4.3	试验结果及分析	(38)
2.4.4	回弹法与超声回弹综合法曲线修正	(40)
2.5	本章小结	(42)
3	再生混凝土保温空心砌块开发	(44)
3.1	保温砌块块型设计及优化	(46)
3.1.1	砌块基本几何参数设计方案	(46)
3.1.2	空心率分析	(47)
3.1.3	热工指标分析	(48)
3.2	保温砌块、砌体热工性能有限元分析	(50)
3.2.1	材料热性能参数	(51)
3.2.2	有限元模型	(51)
3.2.3	热量负荷和边界条件	(52)
3.2.4	砌块的热工性能数值计算方法	(52)
3.2.5	砌块的热工性能数值计算结果分析	(53)
3.2.6	砌体的热工性能数值计算与结果分析	(54)
3.3	承重墙用保温空心砌体热工性能	(58)
3.4	保温砌块生产工艺	(59)
3.5	本章小结	(61)
4	再生混凝土保温空心砌体抗震性能试验研究	(62)
4.1	试验概况	(62)
4.1.1	试件设计	(63)
4.1.2	试件制作及材料性能指标	(64)
4.2	加载方案及测试内容	(65)
4.2.1	加载装置	(65)
4.2.2	拟静力试验加载控制方法	(66)
4.2.3	测试内容及测点布置	(66)
4.3	试验破坏形态及机理分析	(67)
4.3.1	试验现象	(67)
4.3.2	破坏形态	(70)
4.4	试验结果及分析	(71)
4.4.1	荷载与变形	(71)
4.4.2	滞回曲线	(72)

4.4.3	骨架曲线	(75)
4.4.4	刚度退化	(78)
4.4.5	特征位移及延性性能	(79)
4.4.6	耗能能力分析	(80)
4.5	本章小结	(82)
5	再生混凝土黏结强度试验研究	(83)
5.1	概述	(83)
5.2	黏结滑移试验	(86)
5.2.1	试件设计	(86)
5.2.2	试件制作及材料性能指标	(87)
5.2.3	试验装置及加载方案	(92)
5.2.4	试验数据测量	(93)
5.3	试验结果及数据处理	(93)
5.3.1	试验结果	(93)
5.3.2	数据处理	(95)
5.3.3	黏结滑移试验结果分析	(98)
5.3.4	黏结强度分布	(109)
5.4	黏结滑移试验的数值模拟	(110)
5.4.1	黏结滑移的数值计算方法	(110)
5.4.2	黏结滑移本构关系	(111)
5.4.3	单元类型及参数	(113)
5.4.4	模型简化及边界条件	(116)
5.4.5	黏结-滑移曲线	(116)
5.4.6	两种建模方式比较	(118)
5.5	本章小结	(119)
6	再生混凝土板承载能力及加固性能研究	(120)
6.1	引言	(120)
6.2	试验概况	(121)
6.2.1	试件设计	(121)
6.2.2	试件材料及制作	(121)
6.2.3	试件加工及测点布置	(124)
6.2.4	挠度测点布置	(126)

6.2.5 加载及测量方案	(126)
6.3 试验结果及数据分析	(127)
6.3.1 试验结果	(127)
6.3.2 数据分析	(131)
6.4 有限元计算分析	(138)
6.4.1 有限元模型建立	(138)
6.4.2 荷载-挠度全过程曲线	(138)
6.4.3 裂缝分布	(139)
6.5 再生混凝土板承载力及设计	(140)
6.5.1 正截面开裂弯矩	(140)
6.5.2 极限弯矩	(141)
6.5.3 短期刚度及挠度	(141)
6.6 本章小结	(142)
参考文献	(144)

1 绪 论

1.1 再生混凝土的产生背景

混凝土是以水泥、粗细骨料为主要组成材料,经加水搅拌振捣密实成型并养护后形成的一种复合建筑材料,由于其具有材料来源广泛、施工方便、耐久性好等特点,在全世界范围内得到了广泛应用(Naik Tarun R, Moriconi G, 2005; Mehta P Kumar, 2001)。据估算,全球 2011 年对建筑骨料的需求超过了 260 亿吨(Parekh D N, Modhera C D, 2011),而我国占其中的 25%。随着建筑业的迅猛发展和混凝土用量的急剧增加,必然导致天然砂石骨料资源日益匮乏和环境保护压力日益严重。同时,随着城市化进程加快,城市建设从外延式开发向开发与旧城改造并举发展,大量建筑垃圾由此急剧产生(Hansen Torben C, Hedegard Soren E, 1984)。据粗略统计,我国在建筑施工过程中的材料损耗每万平方米将产生 500~600 吨建筑废渣。由此计算可以得出,我国施工建设每年将产生 1 亿吨以上的建筑废渣,加上旧城拆迁、建材工业所产生的建筑废渣,其总数量将达数亿吨。大量调查结果表明,我国建筑垃圾排放量高峰期已经到来。目前,国内的建筑垃圾基本上采取简单的填埋式处理,由于建筑垃圾的不可降解性,填埋式处理方式不但耗用大量耕地和运输费用,还会给社会环境带来灾难性的后果。

将废弃混凝土作为可利用的再生资源,经过筛选、清洗、破碎、分级等工序后,按一定比例相互配合形成“再生骨料”来作为砂石等天然骨料(主要是粗骨料)的替代品,最终配制成新的混凝土,称为再生骨料混凝土(recycled aggregate concrete, RAC),也称再生混凝土(Poon C S, Kou S C, Lam L, 2002)。再生混凝土作为可持续发展的一种绿色建筑材料,不仅能减少和缓解天然资源匮乏的问题,在一定程度上有助于解决日益恶化的环境问题(高桥泰一,阿部道彦,1995; James T Smith, 2008; Bairagi N K, Vidyadhara H S, Ravande Kishore, 1990; Oikonomou Nik D, 2003)。本书针对四川地区城市建设中面临的建筑废弃物处理和建材生产问题而开展再生混凝土的基本性能和应用技术研究,旨在抛砖引玉,为建设过程的资源消耗减量化和建材资源的高效循环利用提供一定的参考和借鉴。

1.2 国外再生混凝土发展现状

第二次世界大战后,美国、加拿大、日本以及欧洲国家等开始针对再生混凝土技术及实用性进行了研究和相关产品的开发利用(Teranishi K, Dosho Y, Narikawa M, et al, 1998; Kuroda Y, Mori K, Miyachi Y, 2003; Kuroda Y, Hashida H, 2005; Kikuchi M, Dosho Y, Narikawa M, et al, 1998)。国外发达国家分别根据本国土木工程的特点和建筑资源的现状,在法律规范、生产工艺、材料性能、评价标准以及混凝土的力学性能、耐久性能等方面进行了大量理论和试验研究,并取得了大量成果(Kondo M, Nukui Y, Dosho Y, 2005; Kondo M, Dosho Y, Koyama A, et al, 2006; Hansen Torben C, Boegh Erik, 1985; Salem Rohi M, Burdette Edwin G, 1998; Salem Rohi M, Burdette Edwin G, Jackson N, 2003)。

由于国土面积狭小和资源贫乏,日本政府十分重视可再生资源的重新开发利用,其中也包括废弃混凝土的再开发利用,并取得了国际领先的成果(Dosho Y, Kikuchi M, Narikawa M, et al, 1998; Dosho Y, Nukui Y, Saito Y, et al, 2005; Dosho Y, 2005; Dosho Y, Ue T, Kaneko Y, et al, 2006)。对于建筑垃圾的主导方针包括:①施工现场尽可能不产生建筑垃圾排放;②尽量使建筑垃圾循环利用;③有效处理再生利用有困难的建筑垃圾。1977年,日本政府制定了《再生骨料和再生混凝土使用规范》,引导日本各地建立了主要用于处理废弃混凝土的再生混凝土加工厂;1991年,《资源重新利用促进法》规定建筑施工过程产生的建筑垃圾必须送往“再生资源化设施”进行处理;1992年,日本建设省提出了五年规划——“控制建筑副产品排放和建筑副产品再利用技术开发”(高桥泰一,阿部道彦,1995);1996年,《再生资源法》的制定为废弃混凝土等建筑副产品的再生利用等提供了法律保障。而日本水泥协会开发了废弃混凝土再生使用新技术,采用新技术的再生混凝土寿命与普通混凝土大体相同(杜婷,李惠强,吴贤国,2003)。此外,日本针对再生混凝土材料特性进行了系统的研究,其中包括吸水性、配合比、收缩、强度和耐久性等方面。截至2008年,日本全国建筑废弃物资源的再利用率已经超过五成,其中废弃混凝土的利用率最高。1988年,东京建筑垃圾的重新利用率达到56%,1995年达到65%,2008年达到70%。

据调查,韩国的再生骨料公司一共有近300家,其中首尔就有70余家。公司的主要业务为收集、运输建筑垃圾和生产再生骨料。其生产的再生骨料可分为普通骨料和优质骨料,粒径为5~40mm。普通骨料可用于铺路,优质骨料可按一定

比例混入生产混凝土。2002年,韩国建筑垃圾的产生量为12万吨/日,再利用量为10万吨/日,再生利用率接近85%。通过对建筑垃圾的再生利用及再生骨料的应用,有效地保护了环境和国土资源。

美国在20世纪70年代就开始了再生骨料的循环利用研究(Buck A D,1977),并制定了《超级基金法》等,为再生混凝土的发展提供了法律保障。《超级基金法》明文规定:“任何生产有工业废弃物的企业,必须自行妥善处理,不得擅自随意倾倒。”1982年,美国混凝土骨料标准(ASTM C-33-82)规定粗骨料包括破碎的水硬性水泥混凝土;与此同时,美国军队工程师协会在相关的规范和建议中鼓励使用再生混凝土(陆凯安,1999)。根据美国联邦公路局统计,有超过20个州在公路基层和底基层的建设中采用再生骨料,其中有15个州制定了再生骨料的相关规范(Federal Highway Administration,2004)。目前,50%的建筑混凝土材料采用混凝土再生料,平均建设成本下降20%以上,产生的间接社会效益巨大。

作为专门统筹“废物及建筑业”业务的法国CSTB公司,是欧洲首屈一指的废物及建筑业集团,由CSTB公司提出的废物管理整体方案主要包含两大目标:①针对新设计的建筑产品环保性能进行研究,控制现场工地废弃建筑垃圾的产量;②在具体工程项目中,预测评估工地废物的生产及收集,确定相关的回收及应用程序,从而达到提升废物管理层次的目的。

荷兰建筑业每年产生的建筑垃圾大约为1400万吨,多数情况下是拆除及改造既有建筑物的产物,建筑垃圾主要包括石块、木材、塑料和金属等。目前,再循环利用的建筑废弃物利用率达到70%以上,建筑废弃物循环再利用的重要副产品是筛砂,产量大约100万吨/年。荷兰政府通过制定一系列法律法规及建立限制建筑废弃物的倾卸处理、强制再循环运行等一整套质量控制制度,希望将建筑废弃物利用率提高到90%。

德国目前主要将废弃混凝土用于公路路面。1998年,德国钢筋委员会提出了《在混凝土中使用再生骨料的应用指南》,要求按照天然骨料混凝土的国家标准进行混凝土的再生骨料配置。

丹麦、芬兰、冰岛等北欧国家于1989年实施了统一的北欧环境标准。长期以来一直关注建筑垃圾的再生利用,并在20世纪80年代末就着手建立了比利时协会以便促进对建筑废料回收利用的研究。

在再生混凝土的配合比设计及新拌混凝土的特性方面,俄罗斯进行了研究。研究表明,再生混凝土的弹性模量和韧度随着再生骨料的含量不同而发生较大变化;同时还发现,再生混凝土的密实度小于普通混凝土的密实度。

在再生混凝土和易性方面,俄罗斯 Osmangasi 大学的研究者(Topcu I B,

Guncan N F, 1995) 和 Shi Cong Kou 等(2007) 发现, 随着再生骨料掺入量增多, 再生混凝土拌合物的和易性越来越差。

在再生混凝土抗压性能方面, 俄罗斯 Osmangasi 大学的研究者(Topcu I B, Guncan N F, 1995) 和 Nixon(1978) 进行了配合比设计, 研究分析了再生混凝土基本力学性能, 结果表明: 再生骨料掺入量越多, 再生混凝土抗压强度下降越快。日本 BCSJ(1983) 试验表明: 再生混凝土的抗压强度与普通混凝土相比减小了 14%~32%; 当掺加 30% 再生粗骨料时, 强度下降不明显; 当全部使用再生粗骨料时, 抗压强度降幅达到 30%。Mahotra(1992) 认为再生混凝土的抗压强度大约是普通混凝土抗压强度的 90%。但是 Hansen 等(1983) 的研究表明, 再生混凝土的抗压强度比普通混凝土高。

在再生混凝土抗拉强度方面, Kou 等(2003)、Jau、Fu 等(2008) 对再生混凝土进行劈裂抗拉强度试验, 发现再生混凝土的劈裂抗拉强度与普通混凝土相比有不同幅度的减小。Sagoe 等(2001) 的试验研究表明: 增大再生骨料在粗骨料中的比例, 再生混凝土的劈裂抗拉强度呈下降趋势; 当再生骨料与天然骨料各占一半时, 再生混凝土劈裂抗拉强度减小幅度为 15%; 当骨料全部采用再生骨料时, 再生混凝土劈裂抗拉强度减小幅度为 40%。Kheder 等(2005) 在劈裂抗拉试验中发现: 水灰比的高低会影响再生混凝土的劈裂抗拉强度, 当水灰比超过 0.5 时, 水泥浆体少, 其强度要小于再生骨料, 再生混凝土劈裂抗拉强度由水泥浆体的强度决定; 当水灰比小于 0.5 时, 水泥浆体充足, 硬化后强度比再生骨料强度高, 再生混凝土劈裂抗拉强度由再生骨料的强度决定。总体来说, 再生混凝土劈裂抗拉强度是普通混凝土劈裂抗拉强度的 13%~24%。

然而, 一些专家学者提出了再生混凝土劈裂抗拉强度与普通混凝土基本相同的观点, Rvindrarajah 等(1985) 的试验结果证明了这一观点。M Etxeberria(2007) 研究表明: 当水灰比相同时, 掺入少量再生骨料, 对混凝土劈裂抗拉强度并无多大影响; 当全部采用再生骨料时, 劈裂抗拉强度下降了 20%~25%。Ryu(2002) 的试验结果表明: 当水灰比为 0.55 时, 再生骨料的来源组成对再生混凝土劈裂抗拉强度影响不大, 主要取决于水泥浆体的强度; 当水灰比为 0.25 时, 再生骨料新旧界面质量为强度的主要影响因素, 新旧界面结合比较差时, 水灰比将影响再生混凝土劈裂抗拉强度; 当新旧界面结合比较紧密时, 再生骨料的强度将影响再生混凝土劈裂抗拉强度。但是, Mostafa 等(2003) 的试验研究发现: 再生混凝土劈裂抗拉强度高于普通混凝土。Jahnston(2003) 的试验表明: 影响再生混凝土劈裂抗拉强度最重要的因素是再生骨料组成类型, 对于不同水灰比, 再生混凝土劈裂抗拉强度随再生骨料表面附着的水泥砂浆增多而升高, 而抗压强度则相反。Mansur 等(2002) 将废

砖加工处理成骨料,配制再生混凝土,检测其劈裂抗拉强度,试验结果表明:再生混凝土劈裂抗拉强度在普通混凝土的劈裂抗拉强度基础上提高了12%。但 Khaldo-un Rahal 发现在相同的配合比及坍落度条件下,与普通混凝土相比,再生混凝土的劈裂抗拉强度、抗折强度均下降。

在再生混凝土耐久性研究方面,崔正龙等(2007)的试验结果表明:全部采用再生骨料的混凝土试件的冻融循环抵抗性与基准普通混凝土试件相比,当水灰比为0.45时,耐久性指数降低6%;当水灰比为0.55时,耐久性指数为9%,再生混凝土的抗碳化性能差。奥地利专家试验(王东海等,2006)表明,当再生骨料取代率为50%时,可配制出强度值满足奥地利标准 B225-300 的再生混凝土,其抗盐冻侵蚀性显著增强;在改善再生混凝土干缩性方面,降低水灰比比掺加粉煤灰的效果更好,在降低水灰比的同时掺加粉煤灰,再生混凝土的干缩性随强度升高而降低。Otsuki 等(2003)研究得出了再生混凝土抗碳化能力受再生骨料掺量和水灰比影响的结论。

在再生混凝土的强化和改性研究方面,J S Ryu(2002)针对再生混凝土界面过渡区进行了试验研究:再生骨料的掺加对界面过渡区强度无影响;水灰比增加导致界面过渡区强度减小,水灰比较小时,混凝土的强度由再生骨料的性能决定;水灰比较高时,强度由水灰比决定。

1.3 国内再生混凝土研究现状

我国再生混凝土技术的研究起步比英国、美国、德国等发达国家要晚许多,利用率较低,对再生混凝土课题的研究是在20世纪90年代后期开始的。1997年,科技成果重点推广项目包括了“建筑废渣综合利用”科研项目。国内一些专家学者在废弃混凝土的利用方面进行了基础性研究,某些建筑公司也对建筑垃圾的回收利用做了一些有益的尝试。

近年来,随着经济建设的进行,砂石建材用量巨大,导致砂石资源出现过度开采情况,开采地及其周边环境被严重破坏(J S Ryu,2002),节能和资源的回收利用越来越受到重视。针对这一现状,我国以立法的形式出台了《城市固体垃圾处理法》。在2005年,我国颁布了《城市建筑垃圾管理规定》,对垃圾的排放制定了相关规定,但对建筑垃圾循环、再利用,大规模的应用到实际建筑施工中的问题,仍然没有好的解决方法。2008年,四川省发生了汶川大地震,房屋倒塌、道路阻断,环境遭到严重破坏,产生了大量建筑垃圾。为了应对这种情况,住房和城乡建设部在

2008年制定了《地震灾区建筑垃圾处理技术导则》。各个地区的建筑垃圾情况不同,深圳市在2010年颁布了《深圳市建筑废弃物减排与利用条例》,上海市在2007年和2010年分别颁布了《再生混凝土应用技术规程》《上海市建筑垃圾和工程渣土处置管理规定》,这些规定的提出,为废弃混凝土循环、再利用的实施提供了技术支持。

目前,部分高校虽然进行了一些再生混凝土相关技术的研究和探讨,但都处在试验阶段;由于缺乏明确性规范和完善的技术,一些零散的试验研究成果未进行系统整理,有的研究结论甚至还出现了与理论相悖的情况。总的来说,由于缺乏系统的再生应用研究基础技术和完善的再生骨料及再生混凝土的技术规程和标准,与国外回收利用技术及规范相比,我国存在明显差距;同时,废弃混凝土的相关鉴定及分级标准的不完善,使得再生混凝土的质量控制和推广也有一定的困难。总而言之,我国的再生混凝土研究技术还不完善,因此有必要开展针对再生混凝土的工程应用问题的系列研究。

1.3.1 再生骨料生产流程

俄罗斯再生骨料破碎工艺有一次破碎与二次破碎两个破碎过程。对于一次破碎,有三个粒径可以进行筛分,分别为40mm以上部分、5~40mm部分及5mm以下部分。一般要求再生骨料的粒径尽量小于40mm。因此,当破碎机器破碎后的再生骨料的粒径在40mm以上时,二次破碎后可有效地去除废旧混凝土内部的金属杂质、木材及玻璃陶瓷等(任铮钱等,2014;朋改非,黄艳竹等,2012;朋改非,张九峰等,2013;薛建阳等,2013;张俊文,2008)。

德国采用将两台破碎机分别置于废旧混凝土的进口及出口,在再生骨料制备过程中进行洒水来降低机器的温度(Purushothaman等,2015;Tabsh等,2009;杨青,2011),因此制备出来的再生骨料一般会比较潮湿,需进行烘干处理。这套生产工艺中可制备四种不同粒径的再生骨料,总体来说较为先进,可以对废旧混凝土进行有效的破碎并进行分类。

日本的再生骨料生产工艺流程中,在混凝土块体破碎以及分类进料等方面技术十分成熟,对于我国的再生骨料的制备起到了一定的指导作用(肖建庄等,2003;李旭平,2007;张九峰,2010)。

在结合国外发达国家废弃混凝土破碎工艺的基础上,我国学者研究出了投资更少、更具实用性的新工艺。史巍和侯景鹏(2001)在国外破碎工艺的基础上,设计出一套带有风力分级设备的再生骨料生产工艺(图1.1)。该工艺通过风力分级装置及吸尘设备将粒径为0.15~5mm的骨料筛分出来,为循环利用再生细骨料奠定

了基础。由于我国现阶段的实际情况,再生细骨料尚未被系统研究,该工艺在短期内无法在实际工程中广泛应用。

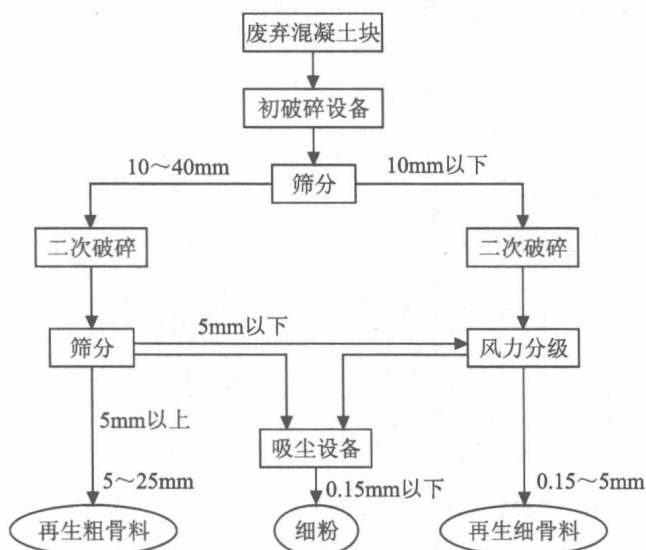


图 1.1 带粉尘处理的再生骨料生产流程

李惠强、杜婷等(2001)设计出一条实用的连续生产线(图 1.2),生产不同材质、不同粒径、洁净的再生骨料。由于块料破碎工艺和骨料筛分工艺均为碎石骨料生产的成熟工艺,所以分选、洁净、冲洗等环节成为主要控制方向。

肖建庄、孙振平等(2005)在结合国内外破碎工艺的基础上,结合中国国情提出了一套全新的破碎工艺,该工艺采用人工法对混凝土块进行分选,除去钢筋和杂质。该工艺未将再生细骨料作为生产对象而直接以微粉处理掉。

1.3.2 再生骨料性能研究

肖建庄、李佳彬等(2003)通过对大量国内外文献分析与研究,对再生混凝土技术开发与研究的最新进展进行了综述与对比分析,主要包括再生骨料的生产工艺、再生混凝土的配合比、再生混凝土物理性能、再生混凝土耐久性、再生混凝土基本力学性能及再生混凝土结构性能等方面。研究表明,废弃(旧)混凝土再生利用是可行的,再生混凝土可以应用到土木工程非承重构件和某些承重构件中。但再生混凝土与普通混凝土在配合比设计、材料性能及结构性能等方面均存在一定差异,需要进行专门研究。最后结合环境保护和建筑业可持续发展,提出了再生混凝土技术开发需要进一步研究的问题。