

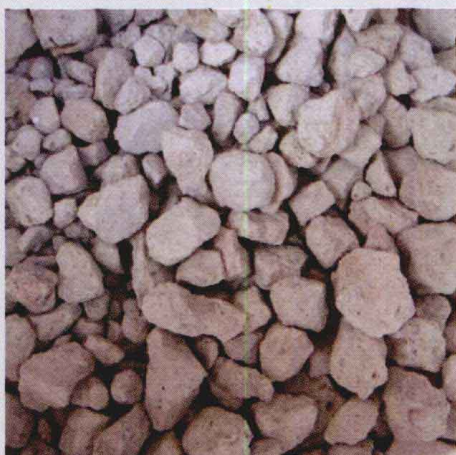
混凝土新技术丛书

Performance and Application Technology of
Recycled Concrete

再生混凝土

李秋义 全洪珠 秦 原◎著

性能与应用技术



中国建材工业出版社

再生混凝土性能与 应用技术

Performance and Application Technology
of Recycled Concrete

李秋义 全洪珠 秦 原 著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

再生混凝土性能与应用技术 / 李秋义等著. —北京:
中国建材工业出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-80227-855-4

I. 再… II. ①李… III. 再生混凝土—研究
IV. ①TU528. 59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 189125 号

内 容 简 介

本书分别介绍了废混凝土的循环利用情况、再生骨料制备技术、再生骨料的基本性能、再生骨料标准、再生粗骨料在混凝土中的应用、再生细骨料在砂浆和混凝土中的应用、再生粉体在砂浆和混凝土中的应用、高性能再生混凝土的制备等内容。本书对于提高再生骨料和再生混凝土质量,推动再生骨料产业化具有重要意义,可供从事固体废物研究开发、生产应用以及教学、培训和管理的人员参考。

再生混凝土性能与应用技术

李秋义 全洪珠 秦原 著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街 6 号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:710mm × 1000mm 1/16

印 张:17.25

字 数:327 千字

版 次:2010 年 10 月第 1 版

印 次:2010 年 10 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-80227-855-4

定 价:40.00 元

本社网址:www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)88386906

前 言

随着我国城镇化进程的发展，建筑垃圾排放量逐年增长，可再生组分比例也不断提高。然而，大部分建筑垃圾未经任何处理，被运往郊外或城市周边进行简单填埋或露天堆存，这不仅浪费了土地和资源，还污染了环境；另外，随着人口的日益增多，建筑业对砂石骨料的需求量不断增长。长期以来，由于砂石骨料来源广泛易得，价格低廉，被认为是取之不尽、用之不竭的原材料因而随意开采，从而导致资源枯竭，山体滑坡，河床改道，严重破坏了自然环境。生产和利用建筑垃圾再生骨料对于节约资源，保护环境和实现建筑业的可持续发展具有重要意义。

由废弃混凝土制备的骨料称为再生混凝土骨料（简称再生骨料）。仅仅通过简单破碎和筛分工艺制备的再生骨料颗粒棱角多、表面粗糙、组分中还含有硬化水泥砂浆，再加上混凝土块在破碎过程中因损伤累积在内部造成大量微裂纹，导致再生骨料自身的孔隙率大、吸水率大、堆积密度小、空隙率大、压碎指标高。这种再生骨料制备的再生混凝土用水量较大、硬化后的强度低、弹性模量低，而且抗渗性、抗冻性、抗碳化能力、收缩、徐变和抗氯离子渗透性等耐久性能均低于普通混凝土。另一方面，由于废弃混凝土质量差异较大，通过简单工艺制备的再生骨料性能差异也较大，不便于再生骨料的推广应用。为了提高再生混凝土的性能，须对简单破碎获得的低品质再生骨料进行强化处理，即通过改善骨料粒形和除去再生骨料表面所附着的硬化水泥石，提高骨料的性能。强化后的再生骨料不仅性能显著提高，而且不同强度等级废混凝土制备的再生骨料性能差异也较小，有利于再生骨料的质量控制，便于再生混凝土的推广应用。

本书有关研究内容得到了科技部、建设部和青岛市科技局等部门的大力支持，获得资助的相关项目有：国家“十一五”科技支撑计划重点课题“建筑垃圾再生产品的研制开发”（2006BAJ02B05）、国家“十五”科技攻关项目子课题“再生集料及其配制新混凝土的研究”（2004BA809B0305）、国家“863”高技术研究发展计划子课题“高品质再生骨料性能和制备技术研究”（2009AA032301-0101）、建设部项目“蒸压粉煤灰垃圾砖的研制”（06-K7-43）和青岛市科技局项目“绿色环保生态砖的研制”的支持，在此表示衷心的感谢。

感谢。本书在编写过程中，参考和引用了韩冰、李云霞、李艳美、吕雪源、毛高峰、孙彩霞、万莹莹、张健等人攻读硕士学位期间的研究成果，在此一并表示感谢。

本书详细介绍了再生骨料的强化工艺和废混凝土处理工艺，并结合即将颁布的国家标准《混凝土用再生粗骨料》（GB/T 25177—2010）和《混凝土和砂浆用再生细骨料》（GB/T 25176—2010）对再生粗骨料、再生细骨料和再生粉体的性能进行了介绍。系统地研究了废弃的混凝土的多种再生利用途径：采用再生粗骨料制备再生混凝土，采用再生细骨料制备再生混凝土、再生砂浆，采用再生粉体制备再生混凝土、再生砂浆和再生硅酸盐制品。目前我国混凝土再生利用技术的研究尚处于初步阶段，本书从工作性、强度和耐久性等方面对混凝土再生产品的性能进行了较为全面的研究，对混凝土再生产品的研究和生产具有参考和指导意义。

本书具有以下特点：

（1）本书介绍的再生骨料制备技术既包括了国外最先进的制备技术，又包括了我们自己提出的最实用技术。

（2）所使用的再生粗、细骨料均为颗粒整形强化后的骨料，骨料性能的提高显著改善了混凝土再生产品的性能。

（3）结合我国即将颁布的《混凝土用再生粗骨料》和《混凝土和砂浆用再生细骨料》两部国家标准的主要内容，对所用再生骨料进行了评价，为最新研究成果。

（4）不仅对再生粗骨料、再生细骨料的性能和应用进行了研究，还研究了再生粉体的性能和应用，使废混凝土使用率达到100%。

（5）再生产品的研究涵盖了高性能再生混凝土，再生粗、细骨料混凝土，再生砂浆和再生硅酸盐制品等高、中、低档再生产品，研究范围广泛。

（6）较系统地介绍了再生原料掺量、胶凝材料体系变化、胶凝材料用量变化等因素对再生产品性能的影响，为工程应用提供多种参考。

（7）对再生产品工作性、强度、收缩性、耐久性等多种性能进行了研究，研究内容全面。

本书指出了再生骨料强化的必要性，给出了强化的方法，研究了多种再生产品的综合性能，对推动再生混凝土产品产业化具有重要意义，可供从事固体废物研究开发、生产应用以及教学、培训和管理人员参考。

李秋义

2010年7月

目 录

第1章 废混凝土的循环利用技术	1
1.1 废混凝土的来源与分类	1
1.1.1 废混凝土的来源	1
1.1.2 废混凝土的分类	3
1.2 废混凝土循环利用的意义	4
1.3 混凝土再生骨料制备技术	4
1.3.1 化学强化法简介	4
1.3.2 物理强化法简介	6
参考文献	9
第2章 废混凝土的处理工艺与产品性能	11
2.1 废弃混凝土的处理工艺	11
2.1.1 国外破碎工艺	11
2.1.2 国内破碎工艺	14
2.2 再生粗骨料的性能	14
2.2.1 主要性能	14
2.2.2 再生粗骨料标准	18
2.3 再生细骨料的性能	18
2.3.1 主要性能	19
2.3.2 再生细骨料标准	21
2.4 再生粉体的性能	22
2.4.1 物理性质	22
2.4.2 再生粉体的化学性质	23
参考文献	24

第3章 再生粗骨料混凝土 27

3.1 试验原料与方案 27

3.1.1 试验原料 27

3.1.2 试验方案 28

3.2 再生粗骨料混凝土的用水量 30

3.2.1 简单破碎再生粗骨料取代率对用水量的影响 30

3.2.2 颗粒整形再生粗骨料取代率对用水量的影响 31

3.2.3 粉煤灰对再生粗骨料混凝土用水量的影响 32

3.3 再生粗骨料混凝土的力学性能 34

3.3.1 混凝土的抗压强度 35

3.3.2 再生混凝土的劈裂抗拉强度 39

3.4 再生粗骨料混凝土的收缩性能 45

3.4.1 简单破碎再生粗骨料对收缩性能的影响 46

3.4.2 颗粒整形再生粗骨料对收缩性能的影响 47

3.5 再生粗骨料混凝土的耐久性 48

3.5.1 再生粗骨料混凝土的碳化性能 48

3.5.2 再生粗骨料混凝土的抗冻性能 56

3.5.3 再生粗骨料混凝土抗氯离子渗透性能 61

3.6 本章小结 66

参考文献 67

第4章 再生细骨料混凝土 70

4.1 试验材料及方案 70

4.1.1 试验原料 70

4.1.2 试验方案 71

4.2 再生细骨料混凝土的用水量 73

4.2.1 简单破碎再生细骨料取代率对用水量的影响 73

4.2.2 颗粒整形再生细骨料取代率对用水量的影响 74

4.2.3 粉煤灰再生细骨料混凝土的用水量 74

4.3 再生细骨料混凝土的力学性能 76

4.3.1 混凝土的抗压强度 76

4.3.2 再生混凝土的劈裂抗拉强度 80

4.4 再生细骨料混凝土的收缩性能 83

4.4.1	简单破碎再生细骨料取代率对收缩性能的影响	83
4.4.2	颗粒整形再生细骨料取代率对收缩性能的影响	84
4.5	再生细骨料混凝土的耐久性	85
4.5.1	再生细骨料混凝土的碳化性能	85
4.5.2	再生细骨料混凝土的抗冻性能	92
4.5.3	再生细骨料混凝土的抗氯离子渗透性能	97
4.6	本章小结	101
	参考文献	102
第5章	高性能再生混凝土	105
5.1	试验原料与试验方案	105
5.1.1	试验原料	105
5.1.2	试验方案	106
5.2	高性能再生混凝土用水量	109
5.2.1	再生骨料取代率对再生混凝土用水量的影响	109
5.2.2	矿物掺合料对再生细骨料混凝土用水量的影响	112
5.2.3	矿物掺合料对再生粗骨料混凝土用水量的影响	113
5.3	高性能再生混凝土的力学性能	115
5.3.1	再生混凝土的抗压强度	116
5.3.2	再生混凝土劈裂抗拉强度	125
5.3.3	再生混凝土抗折强度	129
5.4	高性能再生混凝土的收缩性能	135
5.4.1	再生细骨料取代率对混凝土收缩的影响	135
5.4.2	再生粗骨料取代率对混凝土收缩的影响	136
5.4.3	矿物掺合料对再生细骨料混凝土收缩的影响	137
5.4.4	矿物掺合料对再生粗骨料混凝土收缩的影响	139
5.5	再生混凝土抗氯离子渗透性能	142
5.5.1	再生骨料取代率对混凝土渗透性的影响	143
5.5.2	矿物掺合料对再生细骨料混凝土渗透性的影响	144
5.5.3	矿物掺合料对再生粗骨料混凝土渗透性的影响	145
5.5.4	矿物掺合料对再生混凝土氯离子渗透系数和电通量相关性的影响	149
5.6	再生混凝土抗冻性能和抗碳化性能	152
5.6.1	再生混凝土的抗冻性能	152

5.6.2 高性能再生混凝土的抗碳化性能	159
5.7 本章小结	161
参考文献	162

第6章 再生掺合料 165

6.1 再生粉体的基本性质	165
6.1.1 再生粉体的物理性质	165
6.1.2 再生粉体的化学性质	167
6.1.3 再生粉体对胶凝材料性能的影响	168
6.2 再生粉体胶砂试验研究	170
6.2.1 普通再生粉体	170
6.2.2 超细再生粉体	173
6.2.3 热处理再生粉体	175
6.3 再生粉体混凝土	178
6.3.1 试验原材料及方案	178
6.3.2 再生粉体混凝土的用水量	180
6.3.3 再生粉体混凝土的强度	181
6.3.4 再生粉体混凝土的渗透性	184
6.3.5 再生粉体混凝土抗碳化性能	187
6.4 超细再生粉体混凝土	188
6.4.1 试验原材料及方案	188
6.4.2 超细再生粉体混凝土的用水量	190
6.4.3 超细再生粉体混凝土的强度	191
6.4.4 超细水泥石混凝土的用水量和强度	193
6.4.5 超细再生粉体与其他矿物掺合料对混凝土强度影响的比较	196
6.4.6 外加剂对超细再生粉体混凝土性能的影响	200
6.4.7 超细矿物掺合料混凝土的碳化性能	203
6.5 再生粉体砂浆	204
6.5.1 试验原材料	204
6.5.2 试验结果及分析	205
6.6 再生粉体蒸压砖	208
6.6.1 试验原材料	208
6.6.2 试验方案及结果	209
6.6.3 试验结果分析	214

6.7 本章小结	215
参考文献	215
第7章 再生砂浆	219
7.1 原材料	219
7.2 试验方案设计	220
7.3 试验结果及分析	220
7.3.1 砂浆需水量、稠度、分层度和密度	220
7.3.2 立方体抗压强度	222
7.3.3 砂浆抗冻性能	223
7.3.4 砂浆碳化	224
7.4 本章小结	227
参考文献	228
第8章 再生混凝土经济性初步评价	230
8.1 再生粗骨料混凝土试验一	230
8.1.1 试验材料	230
8.1.2 试验方案	230
8.1.3 试验结果	231
8.1.4 强度与胶水比的关系	232
8.2 再生粗骨料混凝土试验二	232
8.2.1 试验原材料	232
8.2.2 试验方案	233
8.2.3 试验结果	233
8.2.4 强度与胶水比的关系	233
8.3 再生粗骨料混凝土经济性初步评价	235
8.3.1 不考虑免税政策	235
8.3.2 考虑免税政策	236
8.4 本章小结	237
参考文献	237
第9章 应用实例	239
9.1 再生骨料混凝土在道路工程中的应用	239
9.1.1 西安市某 I 级公路	239

9.1.2 开兰路和国道310线 239

9.1.3 上海市某城郊公路 240

9.2 再生骨料混凝土在建筑工程中的应用 240

9.2.1 青岛海逸景园6号工程 240

9.2.2 青岛宜昌馨园工程 242

9.2.3 北京建筑工程学院土木与交通学院试验6号楼 245

9.2.4 北京昌平亭子庄污水处理池工程 247

9.2.5 北京昌平十三陵新农村建设示范工程 248

9.2.6 “沪上·生态家”工程 249

9.3 日本再生骨料的应用实例 249

9.3.1 东京平和岛A-1栋仓库工程 249

9.3.2 东京牟礼团地第1住宅楼礼堂工程 260

参考文献 265

第1章 废混凝土的循环利用技术

1.1 废混凝土的来源与分类

根据我国《城市建筑垃圾和工程渣土管理规定》的规定，建筑废弃物（即建筑垃圾）是指建设、施工单位或个人对各类建筑物、构筑物等进行建设、拆迁、修缮及居民装饰房屋过程中所产生的余泥、余渣、泥浆及其他废弃物。建筑废弃物是城市垃圾的主要组成部分，据统计，世界多数国家的建筑物拆除垃圾和建筑施工垃圾的数量约占城市垃圾总量的30%~40%。

建筑废弃物成分复杂，但其中废混凝土块、碎砖块等所占的比例最高，可以作为再生骨料等进行资源化利用。将废混凝土块经过处理加工成再生骨料，既能解决天然骨料资源缺乏的问题，保护骨料产地的生态环境，又能解决城市废弃物的堆放、占地和环境污染等问题，实现混凝土生产过程中的物质循环利用，保证建筑工业的可持续发展。

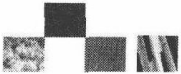
1.1.1 废混凝土的来源

废混凝土是指建筑物拆除、路面返修、混凝土生产、工程施工或其他状况下产生的废混凝土块。废混凝土的来源渠道广泛，目前废混凝土的主要来源有：

（1）混凝土建筑物由于使用年限期满或者老化被拆毁，产生废混凝土块，这是废混凝土的主要来源之一。表1-1给出了目前我国由于旧建筑物拆除产生的各种建筑垃圾调查结果。其中，旧建筑物拆除产生的废混凝土数量非常大。

表 1-1 旧建筑拆除产生的建筑废物量 m³/m²

结构	功能	钢筋	混凝土	砖	玻璃	木材	合计
混凝土结构	住宅	0.0117 (1.64%)	0.6010 (84.15%)	0.0705 (9.87%)	0.0008 (0.11%)	0.03 (4.20%)	0.7142 (100%)
	工厂	0.0114 (1.79%)	0.5360 (83.70%)	0.0585 (9.13%)	0.0009 (0.14%)	0.03 (4.68%)	0.6404 (100%)



续表

结构	功能	钢筋	混凝土	砖	玻璃	木材	合计
混凝土结构	办公楼	0.0159 (2.15%)	0.6360 (85.97%)	0.0571 (7.72%)	0.0006 (0.08%)	0.03 (4.59%)	0.7398 (100%)
	学校	0.0135 (1.66%)	0.6670 (81.89%)	0.1029 (12.63%)	0.0008 (0.10%)	0.03 (3.68%)	0.8145 (100%)
	平均	0.0132 (1.81%)	0.6100 (83.86%)	0.0723 (9.94%)	0.0008 (0.11%)	0.03 (4.13%)	0.7274 (100%)
钢结构		0.0210 (6.47%)	0.2107 (64.89%)	0.0585 (18.01%)	0.0009 (0.28%)	0.03 (9.24%)	0.3247 (100%)
砖结构		0.0000 (0.00%)	0.0000 (0.00%)	0.4800 (70.49%)	0.0008 (0.11%)	0.20 (29.37%)	0.6810 (100%)
砖混结构		0.0027 (0.26%)	0.3200 (30.66%)	0.4000 (38.32%)	0.0008 (0.08%)	0.32 (30.66%)	1.0437 (100%)
木结构		0.0000 (0.00%)	0.0000 (0.00%)	0.0500 (5.88%)	0.0008 (0.09%)	0.80 (94.01%)	0.8510 (100%)
其他		0.0074 (1.02%)	0.2281 (31.44%)	0.2122 (29.24%)	0.0008 (0.11%)	0.276 (38.04%)	0.7256 (100%)

注：括号外数据表示每平方米建筑面积对应的建筑垃圾体积；括号内数据表示每种建筑垃圾占整个建筑物垃圾总体积的百分数。

(2) 市政工程的动迁以及重大基础设施的新建或改造，例如道路路面和机场跑道维修或更换，这部分废混凝土数量通常也比较大。

(3) 商品混凝土厂和预制构件厂的不合格产品或因其他原因产生的不能加以使用的混凝土。

(4) 新建建筑物施工和装修过程中的散落混凝土。在施工过程中，不可避免地会散落大量的混凝土，通常其数量也比较大。

(5) 施工单位试验室和科研机构测试完毕的混凝土试块或者构件，这部分废混凝土数量相对较少。

(6) 地震、风灾和火灾等自然灾害和战争等人为因素造成建筑物倒塌而产生的废混凝土。2008年5月，震惊世界的汶川大地震造成大量建筑倒塌，根据当地有关部门统计，四川省地震灾区已经形成的和因房屋受损可能拆除、废墟清理等即将形成的建筑废弃物总量约5.72亿t(图1-1)，其中可资源化利用的废弃物共计约5.47亿t(表1-2)。5亿多吨建筑废弃物堆放占用土地的

总面积将达到 7.5 万亩，严重污染环境。与此同时，四川省地震灾区房屋垮塌毁损后需要重建的建筑面积超过 2.7 亿 m²，需要大量建筑材料及制品。

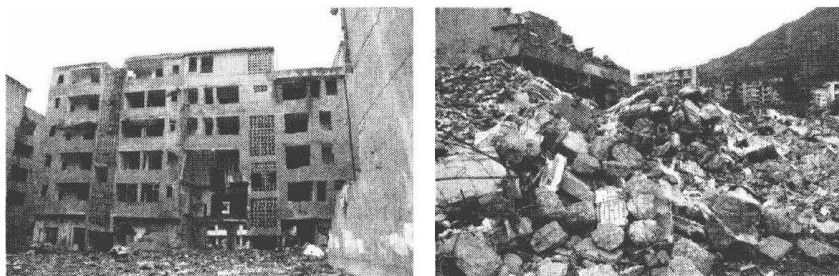


图 1-1 汶川地震形成的建筑垃圾

表 1-2 四川地震灾区建筑废弃物统计表

地区	房屋建筑倒塌 及受损面积 (万 m ²)	建筑废弃物 产生量 (万 t)	可利用建筑废弃物及产生量 (万 t)				
			废混凝土、 砂石、 石灰等	废砖块	可燃废料 (木材、油 毡、沥青)	废钢	废玻璃
成都	约 9700	10500	3800	10500	358	194	20
绵阳	约 13300	14400	5300	14400	491	266	28
德阳	约 10800	11600	4300	11600	398	216	23
广元	约 2100	2300	800	2300	80	43	4
雅安	约 1200	1300	400	1300	45	24	2
小计	37100	40100	14600	40100	1372	743	77

1.1.2 废混凝土的分类

基于对废混凝土回收利用经济性与再生骨料性能要求的考虑，可将废混凝土分为两类，一类为可回收的废混凝土，另一类为不可回收的废混凝土。

不可回收的废混凝土包括部分性能差、有害杂质含量高、可能影响到新拌再生混凝土使用性能的废混凝土。废混凝土能否回收可根据来源、使用环境、暴露条件等加以确定，建议下列情况的废混凝土不宜回收：

- (1) 废混凝土来自于特殊使用要求的混凝土（如核电站、医院放射间等受到辐射的混凝土）。
- (2) 废混凝土已受重金属或有机物污染。



(3) 废混凝土存在碱-骨料反应。

(4) 废混凝土中含有大量不易分离的木屑、污泥、沥青等。

1.2 废混凝土循环利用的意义

近 10 年来,随着我国城市建设速度的加快,许多老建筑物已达到了使用寿命,加之城区改造等工程,每年拆除的废混凝土量十分巨大,并呈逐年增多的趋势。对于建筑废弃物传统的掩埋处理不但需要占用大量的土地资源,而且还会耗费很大的建设经费。建筑废弃物中的许多废弃物经分拣、剔除或粉碎后,大多可以作为再生资源重新利用,我国对于建筑废弃物处理的传统方法是将建筑垃圾进行简易掩埋,因此许多可以重新利用的资源被白白地浪费了。

与此同时,作为最大宗建筑材料的混凝土,其生产需要大量的天然砂石骨料。每生产 1m^3 混凝土大约需要 $1700 \sim 2000\text{kg}$ 的砂石骨料。目前,全世界每年混凝土的使用量超过 40 亿 m^3 ,砂石骨料用量超过 60 ~ 80 亿 t。对砂石骨料如此巨大的需求,必然导致大量的开山采石,破坏生态环境。

为解决上述问题,废混凝土再生利用的课题摆在了人们面前。随着环保意识的加强,世界各国都在加强建筑废弃物再生利用的技术研究,发展了许多回收利用建筑废弃物再生建筑材料的技术。有的国家已制定了相应的技术规范,得到了推广应用。将大批量建筑废弃物作为建筑材料原料,经过一系列的特殊工艺处理后重新用到建设中去,不仅有利于节约天然资源,而且能够解决日益增长的垃圾处理危机,具有显著的社会效益、经济效益和环保效益,对城市的可持续发展具有非常深远的意义。

1.3 混凝土再生骨料制备技术

1.3.1 化学强化法简介

国内外专家学者曾经利用化学方法对再生骨料进行强化研究,采用不同性质的材料(如聚合物、有机硅防水剂、纯水泥浆、水泥外掺 Kim 粉、水泥外掺 I 级粉煤灰等)对再生骨料进行浸渍、淋洗、干燥等处理,使再生骨料得到强化。

1.3.1.1 聚合物(PVA)和有机硅防水剂处理法

将 1% PVA 溶液用水稀释 2 ~ 3 倍,并搅拌均匀,然后把再生骨料倒入上

述溶液中，浸泡 48h。在此期间，用铁棒加以搅拌或用力来回颠簸，尽量赶走骨料表面的气泡，最后用带筛孔的器皿将再生骨料捞出，在 50 ~ 60℃ 的温度下烘干。

将有机硅防水剂用水稀释 5 ~ 6 倍，搅拌均匀后，把再生骨料倒入稀释的有机硅溶液中，浸泡 24h，操作方法同用聚合物处理法。

用 PVA 溶液和有机硅防水剂均能改善骨料的表面状况，从而降低再生骨料的吸水率，见表 1-3。

表 1-3 表面处理后的再生粗骨料吸水率

项目	未经处理		聚合物处理		有机硅防水剂处理	
浸泡时间 (h)	1	24	1	24	1	24
吸水率 (%)	2.5	4.85	0.98	2.05	0.76	1.28

经聚合物和有机硅防水剂处理过的再生骨料的吸水率有较大幅度的降低。经有机硅防水剂处理的再生骨料，24h 吸水率很小，表明有机硅防水剂对再生骨料的强化效果较好。

1.3.1.2 水泥浆液处理法

该方法是用事先调制好的高强度水泥浆对再生骨料进行浸泡、干燥等强化处理，以改善再生骨料的孔结构来提高再生骨料的性能。为了改善水泥浆的性能，可以掺入适量的其他物质如粉煤灰、硅粉、Kim 粉等。

国内学者曾通过试验研究了四种不同性质的高活性超细矿物质掺合料的浆液对再生骨料进行强化试验，经过处理后的再生骨料的表观密度和压碎指标得到了改善，吸水率并没有得到改善，见表 1-4。在相同水灰比下配制再生混凝土，其工作性和强度见表 1-5。

表 1-4 再生骨料化学强化后的性能

骨料品种	吸水率 (%)	表观密度 (kg/m ³)	压碎指标 (%)
未强化	6.68	2424	20.6
纯水泥浆强化	9.65	2530	17.6
水泥外掺 Kim 粉浆液强化	8.18	2511	12.4
水泥外掺硅粉浆液强化	10.06	2453	11.6
水泥外掺粉煤灰浆液强化	7.94	2509	12.8

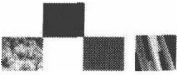


表 1-5 再生混凝土的工作性和强度

骨料品种	坍落度 (mm)	28d 抗压强度 (MPa)	56d 抗压强度 (MPa)
未强化	45	32.5	36.6
纯水泥浆强化	43	30.1	37.7
水泥外掺 Kim 粉浆液强化	48	38.6	40.7
水泥外掺硅粉浆液强化	45	33.2	40.2
水泥外掺粉煤灰浆液强化	42	28.6	38.0

研究表明，化学强化对再生骨料本身的强度有一定程度的提高，但没有明显改善混凝土的性能，且代价过高，没有推广应用价值。

1.3.2 物理强化法简介

所谓物理强化法是指使用机械设备对简单破碎的再生骨料进一步处理，通过骨料之间的相互撞击、磨削等机械作用除去表面黏附的水泥砂浆和颗粒棱角的方法。物理强化方法主要有立式偏心装置研磨法、卧式回转研磨法、加热研磨法、磨内研磨法和颗粒整形法等几种方法。

1.3.2.1 机械研磨强化法

(1) 立式偏心装置研磨法

由日本竹中工务店研制开发的立式偏心装置研磨法的工作原理如图 1-2 所示。该设备主要由外部筒壁、内部的高速旋转的偏心轮和驱动装置所组成。设备构造有点类似于锥式破碎机，不同点是转动部分为柱状结构，而且转速快。立式偏心研磨装置的外筒内直径为 72cm，内部的高速旋转的偏心轮的直径为 66cm。预破碎的物料进入到内外装置间的空腔后，受到高速旋转的偏心轮的研磨作用，使得黏附在骨料表面的水泥浆体被磨掉。由于颗粒间的相互作用，骨料上较为突出的棱角也会被磨掉，从而使再生骨料的性能得以提高。

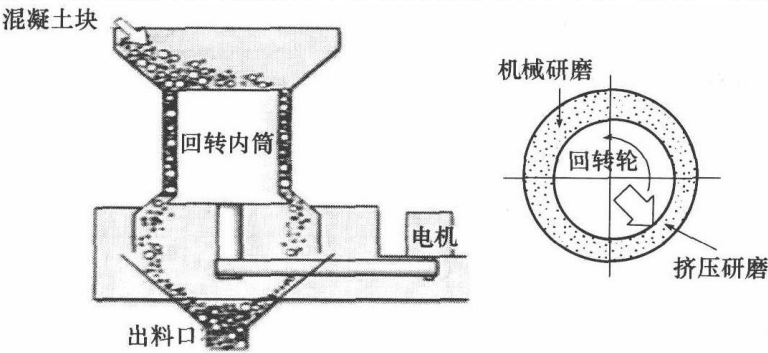


图 1-2 立式偏心装置研磨设备示意