

废弃纤维再生 混凝土及构件

周静海 王凤池 孟宪宏 康天蓓 著



东北大学出版社
Northeastern University Press

国家自然科学基金项目(51178275)资助出版

废弃纤维再生混凝土及构件

周静海 王凤池 孟宪宏 康天蓓 著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 周静海 王凤池 孟宪宏 康天蓓 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

废弃纤维再生混凝土及构件 / 周静海等著. —沈阳: 东北大学出版社, 2014. 11

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0830 - 2

I. ①废… II. ①周… III. ①再生混凝土—研究 IV. ①TU528. 59

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 264595 号

出版者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024 - 83687331(市场部) 83680267(社务室)

传真: 024 - 83680180(市场部) 83680265(社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

http: //www. neupress. com

印刷者: 沈阳航空发动机研究所印刷厂

发行者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm × 240mm

印 张: 12. 75

字 数: 257 千字

出版时间: 2014 年 11 月第 1 版

印刷时间: 2014 年 11 月第 1 次印刷

责任编辑: 刘振军 刘 莹

责任校对: 辛 思

封面设计: 刘江旸

责任出版: 唐敏志

ISBN 978 - 7 - 5517 - 0830 - 2

定 价: 30. 00 元

序 言

环境污染、资源匮乏日益严重是当今世界面临的一大问题，发展循环经济是全球经济呈现出的新态势。倡导物质的循环利用，消除环境与发展之间的尖锐冲突，发展循环经济是我国可持续发展战略的重要措施之一，是建设“资源节约型、环境友好型社会”的必由之路。

随着世界经济的高速发展，越来越多的混凝土建筑物达到使用年限或由于其他因素需要拆除。伴随而来的是大量的建筑废弃物，其中废弃混凝土占绝对比例。目前，建筑废弃物除部分用作施工场地平整、低洼地区填埋外，大部分暴露于郊区的垃圾填埋场，弱碱性的废渣令大片土壤“失活”。同时，随着化工行业的发展，纤维在满足日益增长的日常生活需要的同时，也带来不可小视的环境问题。目前，纤维废弃物较多地作为垃圾处理，严重地破坏了水、土壤环境。鉴于此，将处置废弃混凝土和废弃纤维相结合，作者提出一种由废弃纤维和再生骨料等组成的新型废弃纤维再生混凝土，可以缓解骨料供求矛盾，解决废弃混凝土和废弃纤维带来的环境与社会问题，达到“以废治废”的目的。

本书主要由国家自然科学基金项目（51178275）资助完成，同时也得到了辽宁省自然科学基金（20082010）、建设部攻关课题（05-KGJ-13）、沈阳市科技攻关计划（F11-165-9-00）等的支持。本书主要包括废弃纤维再生混凝土的材料基本性能和结构构件性能两部分研究内容。材料性能方面主要研究材料的物理性质、基本力学性能和腐蚀性与耐久性等。结构性能方面主要以梁、柱、梁柱节点为研究对象，研究了构件在不同纤维掺量与不同荷载作用下的承载能力与变形情况。

在研究过程中,得到了同济大学李杰教授的指导和帮助。参与具体研究工作的还有刘丹、李婷婷、张晚来、程琳、白姝君、岳秀杰等,在此作者表示由衷的感谢。

鉴于时间和作者水平有限,书中难免有错误和值得商榷之处,恳请专家和读者批评指正。本书在编写过程中,参考了许多公开发表的学术论文、规范、教材和著作等,并尽量将其列入参考文献中,但也难免疏漏,在此向有关文献的编著者表示衷心的感谢!

著者

2014年10月

于沈阳建筑大学

目 录

1 绪 论	1
1.1 废弃纤维再生混凝土概念的产生	1
1.1.1 再生混凝土	1
1.1.2 纤维混凝土	2
1.1.3 废弃纤维再生混凝土	4
1.2 废弃纤维再生混凝土研究目的与意义	5
1.2.1 研究的目的	5
1.2.2 研究的意义	6
1.3 国内外研究现状	6
1.3.1 再生混凝土的研究现状	6
1.3.2 纤维混凝土的研究现状	11
1.4 本课题研究内容	15
2 废弃纤维再生混凝土的强度特性	16
2.1 试验过程	16
2.1.1 骨料性质	16
2.1.2 纤维	19
2.1.3 废弃纤维再生混凝土配合比设计	19
2.1.4 试验分组	20
2.2 废弃纤维再生混凝土的坍落度	22
2.3 废弃纤维再生混凝土的抗压强度	23
2.3.1 废弃纤维影响	23
2.3.2 再生骨料掺入量的影响	26
2.3.3 水灰比的影响	27
2.3.4 龄期的影响	30
2.3.5 不同纤维种类的影响	31
2.4 废弃纤维再生混凝土的劈裂抗拉强度	35
2.4.1 废弃纤维影响	35
2.4.2 再生骨料掺入量的影响	37
2.4.3 水灰比的影响	39

3	废弃纤维再生混凝土的耐久性能	42
3.1	试验方案	42
3.2	废弃纤维再生混凝土的抗盐蚀性能	44
3.3	侵蚀后抗压强度及影响因素分析	48
3.3.1	废弃纤维体积分数变化影响	48
3.3.2	侵蚀溶液质量分数变化的影响	49
3.3.3	废弃纤维长度变化影响	51
3.3.4	侵蚀时间变化的影响	52
3.3.5	侵蚀条件变化的影响	53
3.3.6	侵蚀溶液与无侵蚀溶液的影响	54
3.3.7	水灰比变化的影响	55
3.4	废弃纤维再生混凝土抗氯离子渗透性能	55
3.4.1	氯离子的扩散机理	55
3.4.2	氯离子渗透试验	56
4	废弃纤维再生混凝土本构关系及损伤分析	65
4.1	测定混凝土受压应力-应变全曲线的方法	65
4.1.1	测定废弃纤维再生混凝土的应力-应变全曲线的方法	65
4.1.2	刚性辅助架设计	66
4.2	废弃纤维再生混凝土应力-应变全曲线分析	68
4.3	废弃纤维再生混凝土本构关系	72
4.3.1	废弃纤维再生混凝土应力-应变全曲线	72
4.3.2	废弃纤维再生混凝土应力-应变全曲线的几何特征	74
4.4	废弃纤维再生混凝土单轴受压本构模型	76
4.4.1	具有代表性的本构关系模型及分析	76
4.4.2	废弃纤维再生混凝土的本构模型	77
4.5	废弃纤维再生混凝土受压破坏损伤分析	81
4.5.1	测定轴心受压损伤的试验方法	81
4.5.2	试验设计	81
4.5.3	试验数据的处理方法	81
4.5.4	损伤试验结果	82
4.5.5	损伤演化规律	86
4.5.6	废弃纤维再生混凝土损伤模型	87
5	废弃纤维再生混凝土梁弯剪性能	90
5.1	试件设计与制作	90

5.1.1	试验设计	90
5.1.2	试件设计	91
5.2	试验现象	93
5.2.1	正截面受弯试验破坏形态	94
5.2.2	试验数据	96
5.3	废弃纤维再生混凝土梁抗剪试验结果及分析	97
5.3.1	正交试验方案设计	97
5.3.2	正交试验结果分析	98
5.3.3	平截面假定适用性分析	100
5.3.4	混凝土应变分析	101
5.3.5	钢筋应变分析	102
5.3.6	荷载-跨中挠度曲线	104
5.4	废弃纤维再生混凝土梁受弯试验结果分析	106
5.4.1	平截面假定适用性分析	106
5.4.2	荷载-跨中挠度曲线	107
5.4.3	钢筋应变分析	109
5.4.4	最大裂缝宽度分析	111
5.4.5	承载力分析	113
5.5	废弃纤维再生混凝土梁承载力计算方法	114
5.5.1	斜截面受剪承载力的影响因素	114
5.5.2	受剪承载力的计算方法	118
5.6	梁受弯承载力计算	119
5.6.1	承载力计算	119
5.6.2	极限承载力计算	120
5.6.3	跨中挠度计算	121
5.6.4	最大裂缝宽度计算	122
6	废弃纤维再生混凝土柱受力性能	125
6.1	试件设计	125
6.2	试件的受力过程	127
6.2.1	轴心受压试验现象	127
6.2.2	偏心受压试验现象	128
6.3	废弃纤维再生混凝土柱的受力性能的影响因素	130
6.3.1	承载力分析	130
6.3.2	长细比对轴心受压柱承载力的影响	131
6.3.3	再生骨料对偏压柱承载力的影响	132
6.3.4	废弃纤维对偏压柱承载力的影响	133

6.3.5	长细比对偏压柱承载力的影响	134
6.3.6	偏心距对偏压柱承载力的影响	136
6.4	侧向变形分析	137
6.4.1	再生骨料对偏压柱侧向变形的影响	137
6.4.2	废弃纤维对偏压柱侧向变形的影响	138
6.4.3	长细比及偏心距对偏压柱侧向变形的影响	139
6.5	平截面假定适用性分析	142
6.6	废弃纤维再生混凝土柱的设计方法	145
6.6.1	正截面承载力分析	145
6.6.2	开裂荷载分析	147
6.6.3	最大裂缝宽度分析	147
6.6.4	现行规范裂缝宽度的计算方法	148
6.6.5	试验结果与理论值的对比分析	151
7	废弃纤维再生混凝土节点受力性能	152
7.1	废弃纤维再生混凝土梁柱节点的静力承载试验	152
7.1.1	试件设计	152
7.1.2	试验方案	155
7.1.3	试验加载制度	156
7.1.4	测点布置	156
7.1.5	试验现象	156
7.1.6	典型试件的破坏过程	157
7.2	梁柱节点承载力的影响因素分析	158
7.2.1	再生骨料掺量的影响	158
7.2.2	废弃纤维掺量对梁端荷载-位移曲线的影响	161
7.2.3	废弃纤维长度对梁端荷载-位移曲线的影响	165
7.2.4	节点核心区剪切变形	168
7.2.5	再生骨料掺量对节点核心区剪切变形的影响	169
7.2.6	废弃纤维长度对节点核心区剪切变形的影响	171
7.2.7	废弃纤维掺量对节点核心区剪切变形的影响	173
7.3	梁柱节点的梁端极限承载力设计方法研究	175
7.3.1	梁端极限承载力计算分析	175
7.3.2	梁端极限承载力计算结果与试验结果对比分析	179
	参考文献	180

1 绪 论

1.1 废弃纤维再生混凝土概念的产生

1.1.1 再生混凝土

我国地域辽阔，是一个资源大国，但是在可利用的资源中，有些再生缓慢，有些甚至不可再生。在城市化快速发展的同时，我们必须考虑资源的合理化利用和可持续发展问题。

从20世纪初到2000年，世界人口从15亿增长到60亿，目前，人口仍然在增长。人口增长的同时，建筑行业也得到了蓬勃的发展。其中，混凝土以其高强度、耐久、价格低廉等特点，成为建筑行业的主导建筑材料。据统计，我国是世界上使用混凝土的大国，每年需耗用近10亿 m^3 。但是，结构终有其寿命，一些老旧的建筑物、构筑物和基础服务设施到达了使用年限，面临被拆除和报废的境地，从而形成建筑垃圾，产生了大量的废弃混凝土。90年代初，欧共体国家每年排出废弃混凝土为5000万t，而现在每年将达到近人均1t。美国混凝土废料的产生也从20世纪90年代的1亿t增长到现在的1.5亿t。日本的废弃混凝土量也有所增加，目前也达到了1.1亿t。我国在这方面虽然没有权威的统计数据，但据估计，也将达到十几亿吨甚至几十亿吨。除此之外，新建的建筑和自然灾害也会产生大量的建筑垃圾，其中废弃的混凝土占有很大的比例。有关资料显示，2008年发生的四川汶川8.0级大地震摧毁了很多住宅、学校、医院等建筑，产生了5亿t左右的建筑垃圾，若其中废弃混凝土按照建筑垃圾的40%来计算，则产生了2亿t左右的废弃混凝土，这是一个十分庞大的数字。

与此同时，作为混凝土原材料重要组成部分的砂石并不是取之不尽、用之不竭的。而且需要注意的是，所有的天然砂石并不都能达到配制混凝土的性能需要。最近一些年，我国很多质量较好的天然骨料（如河砂、卵石等）在某些地区已经趋于枯竭，许多地区用于配制合格混凝土的砂石都供不应求，而且用于制造

水泥的黏土和石灰石也都供不应求，直接导致水泥产量的下降，因此，我们不得不掘地淘砂、开山采石。随之带来的一系列自然资源、能源和生态环境问题，不符合我国经济可持续发展的长远规划，也不符合世界对于资源和能源、环境的协调发展的要求。一方面是大量自然资源的开采，另一方面是大量的建筑垃圾的产生，如何处理这些问题，不仅是我国需要面临的问题，也是世界各国政府亟待解决的难题。

目前，作为建筑垃圾中再生利用价值最大的废弃混凝土，我们对它的主要处理方式是作为回填材料进行使用或者运到郊外进行简单堆放。前者在一定程度上对废弃混凝土进行了再利用，但是后者的处理方式不仅占用了大量的土地资源，浪费物力、人力进行运输，还会产生大量的环境问题，甚至造成环境污染。随着当前可持续发展战略的提出，人们越来越迫切地要求这些废弃混凝土得到最合理的利用。废弃混凝土经过破碎，成为再生骨料，不仅能够解决天然骨料资源紧张问题，还能够有利于环境保护，同时能够减少城市废弃物的堆放、占地和环境污染等问题，使混凝土形成一个闭路循环，从而保证建筑业的可持续发展。所以，大部分国内外的政府研究机构和大学都将研究重点放在废弃混凝土作为再生集料技术这一课题上。

1.1.2 纤维混凝土

虽然混凝土的应用已经十分广泛，但是它也存在着一些缺点。众所周知，混凝土是一种抗压强度高、可塑性强的复合材料，但它的抗拉强度低、极限延伸率小、性脆、抗裂性不好，这些缺点在某些方面限制了混凝土的更为广泛的应用。近年来，随着建筑行业的不断发展、现代建筑技术的不断提高，人们对混凝土这一用量最为广泛的建筑材料有了更高的要求，它正朝着高强度、高韧性、高阻裂等高性能方向发展。在水泥基体中加入一些短纤维，它们的随机分布可有效地提高混凝土的韧性、耐冲击性和耐收缩性，改善混凝土的性能，于是，纤维混凝土应运而生。

纤维混凝土是纤维增强混凝土的简称，它是水泥浆、砂浆或混凝土为基体，以金属纤维、无机非金属纤维、合成纤维或天然有机纤维为增强材料组成的复合材料。它根据基体材料不同，分为纤维水泥、纤维砂浆。目前所说的纤维混凝土专指基体含有粗骨料的混凝土。依据基体混凝土的特征，又可以分为纤维轻质混凝土、纤维膨胀混凝土、纤维高强混凝土等。

自古以来，人们就意识到在基体中加入纤维可以改善材料的脆性和提高其抗拉强度。最早的事例就是人们在配制黏土制品时，在其中加入稻草，用来改善黏土的性能。在我国，很早就有了在黄土白灰浆体中加入麻刀以用于抹墙砌砖的做法，由于麻刀作为植物纤维的典型来源丰富、较容易获得，故应用较多。在砖砌

体和混凝土结构普遍流行之前,我国广大农村地区大部分房屋为泥土结构,人们在建造房屋的时候,会把稻草掺入泥巴中,增强了泥巴的韧性,这都是对纤维的一种应用。随着混凝土结构的普遍应用,人们开始研究纤维混凝土。20世纪50年代开始,许多国家开始对纤维混凝土进行研究,并取得了一定的成果。研究和应用较多的纤维增强混凝土有聚丙烯纤维混凝土、钢纤维混凝土、碳纤维混凝土、石棉纤维混凝土、玻璃纤维混凝土和几种纤维混合在一起的混杂纤维混凝土等。

20世纪60年代前期,国外有许多专家、学者对纤维作为水泥砂浆的增强材料的可能性进行研究后发现,尼龙、聚丙烯纤维和聚乙烯纤维等都可提高砂浆的抗冲击性。佐罗等人的试验结果表明,当在混凝土中掺入体积率为0.2%左右的聚丙烯纤维时,可有效地减小混凝土的塑性收缩,减小了19%左右。伴随着人类社会的发展和科学技术的进步,不断有新的材料被研究出来并得到广泛应用。70年代中期,美国研制出了聚丙烯膜裂纤维,它是一种直径在2mm以上的束状纤维,其单丝直径仅为46~60 μm ,有效地降低了纤维单丝直径,同时这种纤维在混凝土拌制过程中,能够分裂成许多细小的纤维束,束内的纤维能够展开形成相互牵连的网络。20世纪80年代初,许多家美国公司成功地研究开发了能够均匀分布在混凝土中的尼龙、聚丙烯纤维等,它们的纤维直径在23~62 μm 范围内,有关研究表明,当纤维的体积率为0.05%~0.2%时,明显地提高了混凝土的韧性和抗裂效果。近几十年来,在美国和加拿大等国家,尼龙纤维、聚丙烯单丝纤维与聚丙烯膜裂纤维等低掺率的合成纤维在混凝土工程中被广泛应用。在美国,大量的地下防水工程、工业和民用建筑的屋面、墙面以及道路和桥梁工程中,纤维混凝土得到了大量的应用。目前,纤维混凝土占美国所用混凝土总量的10%左右,其中合成纤维混凝土占7%,而钢纤维混凝土占3%左右。

目前,混凝土研究的一个新兴领域是混杂纤维混凝土,它是将低弹性模量的合成纤维与高弹性模量的玻璃纤维、碳纤维和钢纤维等混合在一起使用,使各种材料在其中发挥各自的优势,取长补短,提高混凝土的力学性能。通过不同纤维之间的混合,其性能能够在基体材料中相互影响,使具有不同性能的纤维之间能够有效地结合,达到优势互补、共同作用、增强效应的结果。混凝土是一种复合材料,在理论上,通过混杂纤维的叠加效应增强混凝土的力学性能是可行的,因此,通过合理的材料设计,使混杂纤维在不同层次上发挥“混杂效应”,达到增强混凝土性能的目的。但是,目前混杂纤维混凝土的研究理论尚不成熟,例如,所掺混杂纤维的比例、复合材料各组分之间的关系以及对混凝土强度、耐久性的影响等问题都不是很确定,混杂纤维混凝土在许多方面都需要进一步的研究和讨论。

20世纪70年代,纤维混凝土技术才传入我国,因此,相对西方国家,我国

对于纤维混凝土的研究起步较晚。可是, 尽管我国对于纤维混凝土的研究起步较晚, 但是发展速度很快, 应用范围也在不断扩大。1986年, 在大连召开了第一届全国纤维水泥与纤维混凝土学术会议, 此后, 每两年召开一次纤维水泥与纤维混凝土学术年会, 并且于1997年11月在广州召开了国际纤维混凝土学术会议。20世纪70年代, 我国开始研究钢纤维混凝土; 90年代, 我国开始研究合成纤维混凝土, 其中尼龙纤维、聚丙烯纤维和聚丙烯腈纤维是应用比较多的纤维品种。合成纤维混凝土中纤维的体积率一般都比较小, 仅有0.05%~0.3%, 它主要应用在建筑砂浆外墙抹灰上, 起到防止和减少混凝土、砂浆的早期收缩裂缝的功能, 同时还能够有效地改善混凝土的抗渗性、耐磨性和抗冻性。在国外相关研究理论和成果的基础上, 国内对其相关理论的研究也不断加强, 纤维混凝土的应用范围也越来越广。沈荣熹教授深入研究了混凝土在低掺率合成纤维作用下的作用机理, 通过总结归纳合成纤维的各项特点后, 明确指出, 合成纤维在加入混凝土中后, 可以有效地提高混凝土的抗裂性能和增韧效果, 能够作为混凝土增强材料。赵国藩教授对于低弹性模量纤维混凝土的剩余弯曲强度问题进行了系统的研究, 同时提出了计算这种纤维混凝土构件的抗弯承载力的方法。试验结果说明, 混凝土结构中的聚丙烯纤维不仅能够作为防止收缩裂缝的非结构性补强材料, 还能够作为改善结构延性、增强结构抗弯承载力的结构性补强材料。有关理论研究结果显示, 加入纤维能够改善混凝土性能的原因很可能在于增强抗裂韧性, 而不在于增加其强度。

1.1.3 废弃纤维再生混凝土

目前, 现代建筑设计的指导理念莫过于节能环保的绿色理念, 重点在于环境保护、资源节约、可持续发展。我国地大物博、资源广泛, 但实际人均占有量很低, 随着经济的快速发展和人口的不断增加, 经济的增长越来越受到资源和环境的约束, 资源、环境和人口之间的矛盾越来越凸显。在这种背景下, 人们试图找出解决这种矛盾的方法, 这时再生混凝土应运而生。经过各国多年的努力, 对于再生混凝土和纤维混凝土的研究, 使我们对其各方面的性能有了很深的认识, 这使得将纤维和再生骨料加入到混凝土中成为可能。

改革开放的几十年内, 我国的经济飞速发展, 纺织行业也得到了很大的发展, 人们对纺织品的消费量不断增加, 目前, 我国的纺织品产量居世界首位, 每年纺织品的消费量大约为500万t。但值得注意的是, 在世界各地每年处理的垃圾中, 占有很大比例的是纺织废料、弃用的地毯和服装等纺织品, 其中大部分为不可降解的丙纶和涤纶等材料, 对于这类垃圾所采取的通常处理方式是填埋, 但是这种方式不仅占用了大量的土地资源, 同时也是对环境的极大污染。另一方面, 大部分纺织纤维的生产方式为石油萃取, 随着石油资源的日益枯竭, 对于合

成纤维的生产产量必然会受到多方面的制约。

人们越来越重视使用产品在消费过程中的环保性能,因此,也对纺织废料的价值进行了重新认识和发现。如何将如此众多的纺织废料重新回收利用,实现它们的二次价值,这不仅可以解决纺织原料不足的问题,重点在于可以减少对土地资源的占有和减少环境污染。将废弃纤维用于混凝土技术中也是一项低成本高效益、资源充足,且具有十分广阔发展前景的新项目。聚丙烯(丙纶)纤维具有质轻、不吸水、耐酸碱性好等特点,作为增强材料加入混凝土中,可以降低混凝土结构自重,而且不需要改变原混凝土的配合比。因此,若能将废弃的纺织纤维作为增强纤维加入到再生混凝土中,这项研究完全符合当今社会对于环境保护的绿色研究理念,既能解决废弃混凝土的问题,可以充分利用废弃纤维的价值,还可以减少垃圾对于环境的污染,使混凝土的发展更上一个层次。

1.2 废弃纤维再生混凝土研究目的与意义

1.2.1 研究的目的

混凝土是现在土木工程方向主导性材料,它因具有高强耐久、造价低廉等优点而成为目前用量最大的建筑材料,但当其达到使用年限或由于自然因素(如地震)造成的破坏,都将成为建筑垃圾,对此,各国提出了各种思考,从而诞生了再生混凝土,即把废弃混凝土块经过一定的程序制成再生骨料,以此全部或部分骨料代替天然骨料,配制成混凝土,可以减少建筑垃圾对人们的生产生活带来的影响。如图 1.1 所示。

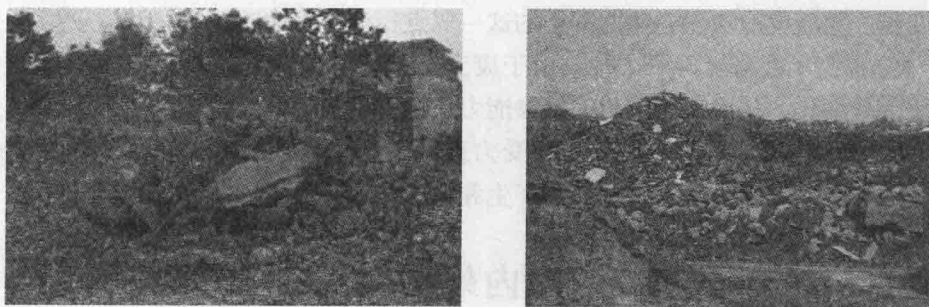


图 1.1 废弃混凝土清运和堆放

再生混凝土中加入再生纤维,是为了利用再生纤维抗拉强度高、极限延伸率大、抗碱性好的特点,来改善普通混凝土抗拉强度低、极限延伸率小、性脆、抗裂性不好的缺点,从而提高混凝土的抗拉强度,降低其脆性和加大极限延伸率。

通过对废弃纤维再生混凝土抗压强度试验和劈裂抗拉强度试验,得到废弃纤

纤维再生混凝土的物理力学性能。通过对这些数据的分析,可以得出龄期、纤维长度、纤维体积掺量、再生骨料掺量和水灰比等影响因素对废弃纤维再生混凝土抗压强度与劈裂抗拉强度的影响规律。

利用废弃纺织纤维来提高再生混凝土的力学性能,对提高废弃纺织纤维的利用率、建筑垃圾再生利用和固体废弃物治理具有重要意义,从而达到“以废治废”的目的。

1.2.2 研究的意义

① 将废弃混凝土经过清洗、破碎、筛分,按照一定的比例得到再生骨料,将其部分或全部作为骨料重新拌制而成的混凝土,它的开发和应用保护了人类的生存环境,符合可持续发展的要求,具有很大的经济、环境和社会效益。

② 在再生混凝土中添加废弃纤维,制成废弃纤维再生混凝土,利用纤维耐酸碱性好、重量轻、不吸水的特性,作为纤维再生混凝土的增强纤维,可使建筑结构材料的重量大大降低,在应用中可不改变原混凝土的水灰比,是一种良好的增强纤维。

③ 防止或减少混凝土收缩裂缝的产生。混凝土因失水收缩产生的裂缝主要是在早期发生。废弃纤维的掺入,可以在混凝土塑性阶段、变形模量较低时,有效地减少收缩和裂缝的发生。在受荷(拉、弯)初期,当配料合适并掺有适宜的高效减水剂时,水泥基料与纤维共同承受外力,而前者是外力的主要承受者;当基料发生开裂后,外力的主要承受者就是横跨裂缝的纤维。

④ 混凝土的韧性和变形特性得到了改善。混凝土是一种非匀质脆性材料,它由多种成分形成,在各种组成成分的结合处,很容易产生集中应力,使其进一步变脆。而纤维的加入,使混凝土的这一弱点得到了很大改善。

⑤ 提高了混凝土的耐久性。由于废弃纤维再生混凝土能大大减少裂缝发生和使裂缝细化,从而使混凝土的抗渗能力得到了较大提高。

⑥ 掺入废弃纤维后,在混凝土受力破坏时,随着纤维在混凝土中的乱向分布,能够有效地阻止或减小裂缝的产生和扩展,从而提高混凝土的强度。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 再生混凝土的研究现状

目前,全世界的建筑行业都进入了飞速发展的时代,其中混凝土作为一种人造材料,对于占用大量自然资源和环境问题所产生的负面效应也越来越受到人们的关注,引发了全社会人们对于可持续发展问题的讨论。

将废弃的混凝土制成再生骨料,配制再生混凝土,不仅是混凝土自身的循环利用,同时减少了环境污染,实现了资源的可持续发展。再生混凝土是目前国内外研究的重点。

(1) 再生混凝土抗压强度研究

混凝土各种力学性能中最重要、最基本的一项就是混凝土的抗压强度,所以,国内外研究人员对再生混凝土抗压强度的研究比较多,不同的研究人员也得出了差别很大的结论。

Gupta, Buck, Dhir, Ravindrarajah, Malhotra 和 Limbachiya 均发现再生混凝土和普通混凝土之间的抗压强度随着龄期的发展规律具有比较类似的特点。

Nixon 发现再生混凝土比普通混凝土的抗压强度低,最多可达到 20% 左右。在此之后, B. C. S. J 也得出了差别不大的结论,再生混凝土比普通混凝土的抗压强度低 14% ~ 32%,再生混凝土的强度随着再生骨料掺入量的增多而不断下降。Wesche 和 Schulz 也对再生混凝土进行了系统的研究,其试验结果是再生混凝土比普通混凝土的抗压强度降低 10% 左右。李佳彬对于再生混凝土也进行了研究,得到了与之相类似的结论。同时, Ravindrarajah 发现再生混凝土比普通混凝土的抗压强度降低 8% ~ 24%。再生混凝土与普通混凝土相比较,其抗压强度低,这种结果的主要原因是由于再生骨料的质量与天然骨料存在一定的差异,这使得再生混凝土的强度较低,甚至不适合作为结构的混凝土。

Ridzuan 的试验得到的结果却与以上结论相反,其试验结果表明再生混凝土比普通混凝土的抗压强度提高了 2% ~ 20% 左右。Yoda 的试验结果表明再生混凝土比普通混凝土的抗压强度提高了 8.5% 左右。Hansen 和 Salem 的试验也都证明了该结论。这个试验结果表明再生混凝土的抗压强度能够高于普通混凝土。

邢锋等也对再生混凝土的抗压强度进行了试验研究,其中再生骨料取代率分别为 0%, 15%, 30%, 60%, 100%, 试验结果表明,若再生混凝土与普通混凝土的抗压强度相同,前提是再生骨料的取代率不超过 30%。王显智等认为,当再生骨料取代率控制在 50% 以下时,掺入再生骨料对再生混凝土 28d 抗压强度不会产生明显的影响。而王武祥等则认为,再生混凝土强度与再生骨料的取代率并没有实际的关联。综合以上研究结果可以得到,只有当再生骨料取代率不超过 30% 时,再生骨料对再生混凝土抗压强度才不会产生十分明显的作用。

Gupta 还研究了水灰比对再生混凝土抗压强度的影响。试验结果表明,当水灰比较低时,再生混凝土的抗压强度比普通混凝土低;但是当水灰比较高时,再生混凝土比普通混凝土的抗压强度要高。它的抗压强度并不是呈现线性降低,随着混凝土水灰比的增大而减小。从他的试验中能够看到,当水灰比为 0.55 时,混凝土的抗压强度最低;当水灰比为 0.6 时,混凝土的抗压强度达到最高。

考虑到再生骨料具有很大的性能差异,研究结果还需要进一步讨论,所以,

有关再生混凝土的抗压强度的研究还需要投入大量的人力、物力。

(2) 再生混凝土劈裂抗拉强度研究

混凝土的力学性能中另外一些很重要、十分基本的一个就是劈裂抗拉强度,与再生混凝土的抗压强度相同,不同研究人员对于再生混凝土劈裂抗拉强度的研究也有很多不同的结论。

Kou 等人的试验发现,随着再生骨料取代率的增加,再生混凝土的劈裂抗拉强度是普通混凝土劈裂抗拉强度的 82.8% 左右。Jau 等人对再生混凝土的劈裂抗拉强度的研究表明,它比普通混凝土的劈裂抗拉强度低 7% ~ 20% 左右。Sagoe 等人的研究表明,随着再生骨料掺入量的增多,再生混凝土的劈裂抗拉强度有所下降。当掺入 50% 的再生骨料时,再生混凝土比普通混凝土的劈裂抗拉强度低 15% 左右,当全部掺入再生骨料的时候,再生混凝土比普通混凝土的劈裂抗拉强度降低了 60%。Kheder 的试验结果是,当高水灰比时,水泥浆体的强度决定了再生混凝土的劈裂抗拉强度,这时,水泥浆体的强度比再生骨料的强度要低;当低水灰比时,再生骨料的强度影响着再生混凝土的劈裂抗拉强度,此时,水泥浆体的强度要比再生骨料的强度高。再生混凝土的水灰比为 0.5 是两者之间的界限。

Gupta 的试验发现,再生混凝土中水灰比较高时,与普通混凝土相比,其劈裂抗拉强度高。Mostafa 的试验也证明了再生混凝土要高于普通混凝土的劈裂抗拉强度。Jahnston 的试验发现,如果水灰比不同,影响再生混凝土劈裂抗拉强度的因素有很多,但最重要的是再生骨料的类型,再生骨料表面附着越多的水泥砂浆,其抗压强度越低,但劈裂抗拉强度越高。同时,水泥浆体与骨料之间的黏结强度对抗压强度的影响较小,对劈裂抗拉强度的影响较大。

除此之外,有些研究人员认为,普通混凝土与再生混凝土的劈裂抗拉强度差不多。Ravindrarah 的试验就证明了这一点。他研究了普通混凝土与再生混凝土劈裂抗拉强度之间的关系,结果表明,再生混凝土的劈裂抗拉强度与普通混凝土的劈裂抗拉强度相差 $\pm 15\%$ 左右。Ryu 的试验表明,当水灰比为 0.25 时,再生骨料新旧界面的质量是影响再生混凝土劈裂抗拉强度的重要因素,当新界面的质量比旧界面的质量差时,水灰比对再生混凝土的劈裂抗拉强度的影响明显;当新界面的质量比旧界面的质量好时,再生骨料的强度对再生混凝土的劈裂抗拉强度的影响明显。

(3) 再生混凝土弹性模量研究

评价混凝土变形性能的一项重要指标是弹性模量,测量再生混凝土的弹性模量,可以增强对再生混凝土变形性能规律的认识。

Khan 和 Rasheeduzzafar 的试验发现,再生混凝土的劈裂抗拉强度比普通混凝土低 18%; Schulz 和 Wesche 的试验证明,再生混凝土比普通混凝土的弹性模量