



掺钢渣再生骨料自密实混凝土 技术与工程应用



马 剑 江飞飞 王静芳 ◎ 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

掺钢渣再生骨料自密实混凝土 技术与工程应用



马 剑 江飞飞 王静芳 © 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

掺钢渣再生骨料自密实混凝土技术与工程应用/马剑,江飞飞,王静芳著. —武汉:武汉大学出版社,2018.11

ISBN 978-7-307-20545-1

I. 掺… II. ①马… ②江… ③王… III. 钢渣—水泥混合料—骨料—混凝土工程 IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 216688 号

责任编辑:方竞男

责任校对:李嘉琪

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: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 字数:196千字

版次:2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷

ISBN 978-7-307-20545-1 定价:85.00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

随着现代社会的发展,传统混凝土带来的资源和环境问题越发突显,因此节能环保、绿色生态的混凝土是建筑发展的趋势。本书所涉及的掺钢渣再生骨料自密实混凝土属于绿色混凝土的范畴,而在我国,掺钢渣再生骨料自密实混凝土的研究与应用还处于发展阶段,对该领域进行研究具有重要的现实意义。

钢渣是炼钢过程中的废弃物,随着钢铁产量的增长,大量的钢渣堆积问题亟须解决。钢渣和水泥具有相似的化学组成,其本身含有 C_3S 、 C_2S ,具有一定的活性,将钢渣粉作为掺合料替代部分水泥制备绿色混凝土可提高钢渣利用价值,钢渣粉可填充胶凝材料颗粒之间的空隙,使得混凝土更为密实,并改变了胶凝材料颗粒间界面的黏结方式,降低了混凝土水化热。另外,随着我国城镇化迅速推进,拆除了大量的废旧建筑物的同时新建大量建筑物,导致山石开采枯竭,环境压力倍增,采用再生骨料替代传统砂石骨料也日趋紧迫。本书研究了钢渣和再生粗骨料双固体废弃料对混凝土性能的影响,对掺钢渣再生骨料自密实混凝土的制备、工作性能、力学性能、耐久性能及构件的静力性能等多方面进行研究,并就其工程应用及施工工法进行了介绍,对推动绿色混凝土的发展起到了指导作用。

本书由江苏科技大学马剑、江飞飞和王静芳撰写。江苏科技大学潘志宏对本书的试验研究提供了指导性的建议和帮助;江苏科技大学卞梁、朱虎臣,张家港市金港建设工程质量检测公司高级工程师沙振方也对本书的试验研究提供了大量的帮助;江苏德丰建设集团有限公司副总经理、高级工程师孙樟在本书的绿色混凝土工程应用及施工工法研究方面提供了有力支持;本书相关研究还得到了江苏省教育厅、住建厅和张家港市科技局(工业支撑项目、社会发展项目)的大力支持,在此一并表示深深的谢意。

在本书的撰写过程中,先后有多位江苏科技大学的硕士研究生和本科生参与了大量与本书研究相关的试验工作,他们是:硕士研究生吴春阳、刁子坤、庄园、江鑫;2012级本科生张硕、吴晨、邱涛、高中洋、魏善长、胥论;2013级本科生曹鑫、张硕硕、蔡文健、陈伟、朱守智、顾鹏远;2014级本科生潘荣楠、石辉、蔡梦帆、罗宇峰、陈天明、宋威、汪超;2015级本科生董超超、戚猛、王雷、孙杰、王晨、周朝慧,在此一

并表示衷心的感谢。

在本书的撰写过程中,著者查阅和参考了大量的文献资料,在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,在本书的研究和撰写过程中难免存在疏漏,恳请读者、专家批评指正,以便及时修正、完善。

著 者

2018年7月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 混凝土的发展	(1)
1.2 资源与环境的问题	(2)
1.3 “绿色混凝土”的概念提出与发展	(3)
1.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土	(5)
2 材料的基本性能	(10)
2.1 胶凝材料	(10)
2.2 钢渣	(11)
2.3 粗骨料	(13)
2.4 细骨料	(15)
2.5 减水剂	(16)
3 配合比设计	(18)
3.1 配合比设计原则	(18)
3.2 再生混凝土的配合比设计	(18)
3.3 自密实混凝土的配合比设计	(19)
3.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土的初始配合比设计	(19)
3.5 本章小结	(22)
4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土工作性能研究	(24)
4.1 新拌混凝土的工作性能	(24)
4.2 掺钢渣再生骨料自密实混凝土填充性试验研究	(27)
4.3 掺钢渣再生骨料自密实混凝土间隙通过性试验研究	(30)
4.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土抗离析试验研究	(32)
4.5 掺钢渣再生骨料自密实混凝土经时损失研究	(34)
4.6 本章小结	(47)

5 掺钢渣再生骨料自密实混凝土力学性能研究	(48)
5.1 新拌混凝土的力学性能	(48)
5.2 掺钢渣再生骨料自密实混凝土立方体抗压强度试验研究	(49)
5.3 掺钢渣再生骨料自密实混凝土轴心抗压强度试验研究	(53)
5.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土劈裂抗拉强度试验研究	(55)
5.5 掺钢渣再生骨料自密实混凝土静力受压弹性模量试验研究	(58)
5.6 本章小结	(61)
6 掺钢渣再生骨料自密实混凝土耐久性能研究	(63)
6.1 新拌混凝土的耐久性能	(63)
6.2 掺钢渣再生骨料自密实混凝土抗碳化性能试验研究	(68)
6.3 掺钢渣再生骨料自密实混凝土抗渗透性能试验研究	(84)
6.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土碳化和氯离子侵蚀相互作用的研究	(99)
6.5 本章小结	(106)
7 掺钢渣再生骨料自密实混凝土构件的静力性能研究	(110)
7.1 构件的制作与设计	(110)
7.2 掺钢渣再生骨料自密实混凝土梁的受弯性能试验研究	(115)
7.3 掺钢渣再生骨料自密实混凝土梁的受剪性能试验研究	(125)
7.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土偏心柱受压性能试验研究	(129)
7.5 本章小结	(133)
8 典型工程的应用与施工方法	(136)
8.1 工程概况	(136)
8.2 施工工艺流程及操作要点	(137)
8.3 材料与设备	(150)
8.4 质量控制	(151)
8.5 安全与环保措施	(152)
8.6 工程效益分析	(153)
8.7 本章小结	(153)

1 绪 论

1.1 混凝土的发展

混凝土是由水泥、粉煤灰等作为胶凝材料,砂、石作为骨料,与水按一定比例配合,根据需要可添加一些外加剂或掺合料,经搅拌、成型、养护而形成。混凝土是目前最主要的土木工程材料之一,在房建、地下、水利、桥隧等工程中的应用极为广泛。

混凝土的产生可以追溯到古老的年代,古罗马人将碎石子掺进石灰和砂的混合物里制造出混凝土,其中,砂是被称为“白榴火山灰”的火山土。罗马最宏大的圆形露天斗技场——古罗马圆形剧场,就是采用这种混凝土建造的。

自 19 世纪 20 年代,波特兰水泥由英国的 Joseph Aspdin 研制成功并取得专利,用它配制的混凝土具有工程所需的强度和耐久性,并且原料易得,造价低,特别是能耗较低,因而在世界各地迅速推广开来。

20 世纪初,水灰比等学说的发表初步奠定了混凝土强度的理论基础。此后,相继出现了各种混凝土:重混凝土、轻质混凝土、防水混凝土、防辐射混凝土、加气混凝土及其他混凝土等,各种外加剂也开始被使用到混凝土中。20 世纪 60 年代以来,减水剂被广泛应用,出现了高效减水剂,并研制出流态混凝土。多种纤维材料被用于分散配筋的纤维混凝土。高分子材料进入混凝土材料领域,出现了聚合物混凝土。现代测试技术也被广泛应用于混凝土材料科学的研究。

混凝土是土木工程中用途最广、用量最大的一种建筑材料。利用现代新技术,发展新工艺、新设备;广泛利用工业废渣作为原材料等,研制轻质、高强、多功能的绿色混凝土新品种是需要不断探索解决的课题。

1.2 资源与环境的问题

进入 21 世纪,中国经济迅速发展,已经成为世界第二大经济体,但是资源和能源短缺以及环境恶化已成为中国经济发展道路上的绊脚石。

传统混凝土大约包含 12% 的水泥、8% 的水和 80% 的砂石。全球每年需求约 115 亿吨混凝土,意味着需要 15 亿吨水泥、10 亿吨水和 90 亿吨砂石。生产 15 亿吨水泥约产生 15 亿吨 CO_2 , 约占全球产生 CO_2 总量的 5%^[1], 生产混凝土所需的水和砂石对环境资源会造成很大的消耗。我国生产的水泥占世界产量的 60%, 大部分水泥制造设施效率低且技术落后, 水泥行业产生的 CO_2 的排放量占全国排放量的 20% 左右。不过, 水泥行业在减少能源消耗和有害气体排放方面已取得了一定的进展。水泥行业自 1972 年以来已提高了 33% 的利用率。

随着我国建筑行业的快速发展, 砂石的需求量越来越大, 大量的开山采石, 使得采石区生态环境日趋恶劣。有些地区的优质天然集料已经逐渐枯竭, 须从外地长途运输, 增加了建筑成本。同时, 在我国城镇化迅速推进的过程中, 拆除大量废旧建筑物的同时新建大量建筑物, 导致山石开采枯竭并产生大量建筑垃圾, 环境压力倍增。据统计, 每拆除 1 万平方米的建筑并建设 1 万平方米的建筑会产生 7500~12600 t 的建筑垃圾, 占我国城市总垃圾的 30%~40%^[2-3]。如按拆除建筑物总面积仅占新建建筑施工面积的 10% 保守估计, 我国每年产生的建筑垃圾总量将达到 4.8 亿吨之多。如此大量的废弃混凝土不仅占用宝贵的土地, 而且已经引起环境和社会问题, 特别是在土地和空间日趋紧张的大城市更是如此。多数施工单位对建筑垃圾不做任何处理, 直接运至郊区或农村露天堆放或者填埋, 在运输过程中遗撒和扬尘等又将造成空气污染。

钢铁产业为我国支柱性产业之一。在炼钢过程中产生了不少工业废料, 比如粉煤灰、钢渣等。粉煤灰的再利用已经有了较好的发展。但是随着钢铁产量的增长, 大量的钢渣堆积问题亟须解决。在工业废渣中, 炼钢企业的钢渣排出量为粗钢产量的 10%~15%, 成为钢铁企业所在城市的最主要固体废弃物^[4]。2016 年, 我国的粗钢产量为 8.1 亿吨, 产生钢渣约为 1.2 亿吨。环境的污染势必会制约经济的发展, 解决钢渣的污染问题将有利于经济的发展。截至 2016 年, 我国钢渣的综合利用率仅为 10%^[5], 每年有将近 1 亿吨钢渣没有得到有效利用, 大量钢渣只能堆积在土地上, 不仅占用了大量的耕地, 而且钢渣中所含有的重金属离子、碱金属离子渗入土壤中, 造成了地下水污染^[6-7]。美国、日本、德国等发达国家钢渣的利用率

已经高达 90% 以上,其钢渣主要用于道路或桥梁工程、水泥混合材、农肥改善土壤和作为冶金炉料等^[8-14]。

1.3 “绿色混凝土”的概念提出与发展

随着现代社会的发展,建设需求和建筑规模越来越大,但是传统混凝土造成了大量能源消耗和环境污染。随着环保理念不断深入人心,节能环保、绿色生态的绿色混凝土是建筑发展的趋势。20 世纪 80 年代末,“绿色材料”的概念在第一届国际材料科学研究会上被首次提出。在国内,早在 1998 年吴中伟院士就提出了“绿色高性能混凝土”的概念,即将高性能混凝土与环境、生态和可持续发展结合起来考虑。“绿色”可以理解为节能、环保、高效、可持续。

绿色混凝土的具体定义目前还没有形成统一。其一般是指在传统混凝土技术基础上,通过对矿渣、粉煤灰、煤矸石、建筑垃圾等的再利用,以先进的生产技术生产的一种新型混凝土。绿色混凝土能体现可持续发展,减少资源、能源的消耗,实现废弃物的再利用,降低成本,同时能够减少对环境的影响,既满足了当代人的需求,又不损害后代人的利益。

绿色混凝土主要有绿色高性能混凝土、再生骨料混凝土、环保型混凝土及智能型混凝土等。

1. 绿色高性能混凝土

绿色高性能混凝土兼具绿色和高性能两个方面,即在混凝土绿色化基础上性能更加优异的混凝土。这种混凝土从原材料绿色化方面来说,主要是构成材料的绿色化。一方面可以通过降低水泥用量并尽可能采用绿色水泥,如无熟料水泥或免烧水泥;另一方面可以降低原材料中天然骨料的含量,如将工业废渣或者建筑垃圾等替代部分或全部的天然骨料。

2. 再生骨料混凝土

再生骨料混凝土是指以建筑废料(主要是废混凝土)经过破碎筛分等工艺后制成再生混凝土骨料替代天然骨料拌制而成的混凝土。

近年来,大量老旧建筑需要进行修补或拆除工作,由此会产生大量的建筑废料,因此,如何有效地处理和循环利用建筑废料是急需解决的问题。再生骨料混凝土技术通常被认为是解决这个问题最有效的措施。

目前,世界上很多国家,特别是发达国家,已经把城市建筑垃圾减量化和资源化处理作为环境保护和可持续发展战略目标之一,纷纷开展了对建筑废弃物的再生利用研究,其中一个主要方面就是对再生混凝土的研究,形成了再生混凝土技术。但是再生骨料混凝土具有孔隙率高、吸水性强、强度低的特点,需要对再生骨料的配比进行反复试验以确保工程质量。

3. 环保型混凝土

环保型混凝土是指既满足现代人的需求,又考虑环境因素,有利于资源、能源的节省和生态平衡的混凝土。这种混凝土既能减少对地球环境的负荷,又能与自然生态系统协调共生,为人类营造舒适的环境。

环保型混凝土主要包括减轻环境负荷型混凝土和生态型混凝土两大类:①减轻环境负荷型混凝土是指在混凝土的生产、使用至解体全过程中,能够减轻对环境造成的负担。比如在混凝土生产阶段使用免烧水泥和混合材料,减少 CO_2 排放量;采用工业废渣或再生利用废弃混凝土代替天然骨料,节省天然矿物资源,同时降低废渣对环境的污染;在混凝土施工过程中,采用自密实混凝土,减少施工噪声等。②生态型混凝土是能够适应生物生长、对调节生态平衡、美化环境景观、实现人类与自然的协调具有积极作用的混凝土。比如低碱性混凝土,当能够提供植物根部或生物生长所必需的养分存在的空间,可以适应生物生长。植被混凝土以多孔混凝土为基础,通过多孔混凝土内部孔隙中加入养料为植物提供营养,并加入添加剂来改善混凝土性能,使混凝土内部环境适宜植物生长,还可在混凝土表面铺一层混有种子的土壤,提供种子早期的营养。透水混凝土具有良好的透水透气性能,用于铺筑道路、广场、人行道时,能扩大城市的透水、透气面积,增加行人、行车的舒适度和安全性,减少交通噪声,对调节城市空气的温度和湿度、维持地下土壤的水位和生态平衡具有重要作用。

4. 智能型混凝土

智能型混凝土是指在混凝土原有组成成分基础上掺入复合智能型组分,使混凝土材料具有一定的自我感知、自我适应和自我损伤修复等智能特性,从而提高混凝土结构的安全性和耐久性。

近年来,相继出现了自诊断混凝土、自调节混凝土和自修复混凝土等智能型混凝土。自诊断混凝土是指通过对基材中掺入导电相组分,使其具有压敏性和温敏性,从而具备自感应性能。自调节混凝土是指通过将电力效应应用于混凝土结构的传感和驱动,使其具有电力效应和电热效应等性能,可以调节由于温度自重引起的蠕变,实时监测建筑物内部和周围环境温度变化,控制建筑物内部环境温度。自

修复混凝土是指通过在基材中掺入活性掺合料或微细有机纤维等修复材料,当混凝土结构发生损伤时,可自动利用修复材料进行修复。如美国 Carolyn Dry 采用在空心玻璃纤维中注入黏结剂(缩醛高分子溶液),当混凝土结构发生损伤时,该黏结剂就会自动流出修复损伤部位,甚至提高了混凝土材料的性能。

1.4 掺钢渣再生骨料自密实混凝土

掺钢渣再生骨料自密实混凝土属于绿色混凝土的范畴。在我国,掺钢渣再生骨料自密实混凝土的研究与应用还处于发展初段,对此领域进行研究具有重要的现实意义。

工业发达国家资源综合利用水平一直走在前列,对钢渣和再生骨料已经具备一套完善的工业体系,技术手段和综合利用水平相对较高,这归功于国家对环保的重视和技术研究的时间较早。在 20 世纪 40 年代,苏联学者 Gluzhge^[15]研究了将废弃混凝土作为集料用于配制再生混凝土的可能性,到 1979 年底,已经利用废弃混凝土约万吨。同时,美国在 70 年代初已经实现钢渣的排放与利用的平衡,占用土地的钢渣堆基本清除^[13]。欧洲发达国家对建筑垃圾以及钢渣废弃料利用率接近 100%,据统计,废弃料多数用于路基工程,混凝土集料等土木领域。

E. Anastasiou 等^[16]通过试验研究钢渣和建筑垃圾作为粗骨料,粉煤灰替代 50% 水泥可以制备出 28 d 标准立方体抗压强度为 30 MPa 的再生混凝土,为绿色高性能混凝土研究提供了思路。M. Maslehuddin 等^[17]对钢渣作粗骨料制备混凝土对比天然粗骨料混凝土进行试验,研究耐久性、体积安定性和钢筋锈蚀,研究结果表明,钢渣粗骨料的混凝土耐久性、体积安定性和钢筋锈蚀性能优于天然粗骨料混凝土,但钢渣粗骨料的混凝土单位体积重量要大于天然粗骨料混凝土。Khalid Raza 等^[18]通过试验进行钢渣按照 0、10%、20%、30%、40% 和 50% 比例替代天然粗骨料的相对优势分析。试验结果表明,钢渣粗骨料替代天然粗骨料可以提高 4%~8% 的抗压强度、劈裂抗拉强度和抗弯强度,当钢渣粗骨料取代率为 50% 时,混凝土的工作性能提高了 20%。

我国研究钢渣水泥混合材料历史较早,并已有相关规范,但钢渣作为掺合料研究较少。李永鑫^[19]进行了钢渣作掺合料的活化研究,并在其组成、结构与性能关系基础上研究钢渣水化机理及微观特征。研究结果表明,颗粒形态与胶凝性能有关,钢渣颗粒圆度较高,钢渣活性较高;钢渣的不安定性是可控的,钢渣粉活性高于粉煤灰,并且可以配制出高流动性的 C60 高强混凝土。李翔^[20]对钢渣作掺合料和粗骨料双掺混凝土进行试验研究,试验结果表明,以 25% 钢渣替代天然粗骨料和

30%~40%钢渣替代水泥作掺合料制备双掺混凝土,其体积稳定性,力学性能及耐久性均符合相应指标。王强^[21]从化学组成来分析钢渣的活性和钢渣替代水泥对水化作用的贡献试验研究,研究表明,钢渣的化学成分与水泥成分的种类类似,但钢渣水化过程是一个缓慢的过程,碱性环境可以激发钢渣早期的活性,后期水化过程中,钢渣可以促进水泥水化,使水泥达到一个较高的水化程度。赵计辉^[22]通过试验研究钢渣粉的胶凝性及对水泥的力学性能影响,试验结果表明,钢渣在碱环境下促进钢渣浆体水化发展,并且通过试验发现,钢渣颗粒越小对强度越利。胡益彰^[23]通过试验研究胶凝材料的水化热、浆体硬化后空隙分布状况和混凝土的性能,探索钢渣在复合胶凝材料的水化特性及对混凝土的性能影响,试验结果表明,钢渣的早期活性较低,在浆体硬化后的空隙分布方面的影响与粉煤灰相似,但在钢渣复合胶凝材料方面性能表现优于粉煤灰。米贵东^[24]通过试验研究钢渣粗骨料的体积安定性不良对混凝土的破坏规律,试验结果表明,在蒸压条件下,钢渣中的游离态的氧化钙和氧化镁会加速钢渣粗骨料的膨胀,钢渣粗骨料所占比重越大,对混凝土破坏越严重,因此钢渣在粗骨料应用方面要严格控制钢渣的含量。孙小巍^[25]通过试验探讨钢渣的细度、钢渣与矿渣的比例关系和激发剂种类对复合硅酸盐水泥性能的影响,通过 SEM 对复合水泥水化产物进行微观结构分析,试验结果表明,钢渣与矿渣比例一定时,随着钢渣粒径越小,胶凝材料的凝结时间越短,各时期胶砂强度越大,反之,胶凝材料凝结时间越长,水泥基膨胀率增大,各时期强度随之降低;加入适量的激发剂,会增加钢渣的活性。吴福飞等^[26-27]研究钢渣集料对比基准混凝土分析混凝土界面结构和力学性能的作用,试验结果表明,粗钢渣的颗粒可以代替天然砂和石料配置混凝土,且由于钢渣表明存在较大孔径或贯穿孔径,水泥浆的渗入可起到“锚固”作用,因此钢渣集料可以改善混凝土的界面结构;在各强度等级下,钢渣砂的改善作用要比钢渣粗骨料好;与基准混凝土相比,掺量在 30%以内的钢渣石料混凝土后期强度、抗冲磨强度均高于基准混凝土。宋强等^[28]对在硅酸盐水泥中加入不同掺量矿粉以及不同掺量和细度的钢渣粉用以探索钢渣和矿渣对水泥的强度、孔隙结构及体积安定性的影响,试验结果表明,掺入钢渣的水泥,其强度受制于矿渣的掺入量的影响,拌合物掺入钢渣会增大试块的孔隙率,而掺入矿渣会降低试块的孔隙率。徐兵^[29]通过试验对处理后的钢渣砂进行性能测试和分析,试验结果表明,经过清洗和合理的级配处理,钢渣砂可以满足砂的建筑使用标准。我国宝钢制备出综合性能良好的钢渣混凝土可以运用在护岸桩中,通过实际工程对比试验测试结果表明,钢渣粉做掺合料在实际运用中比例应该控制在 15%~20%,为保证钢渣混凝土的体积安定性,宝钢转炉滚动筒钢渣替代砂的比例控制在 20%~30%,经过科学的配合比设计可满足钢渣混凝土的良好力学性能和耐久性,一般运用在护岸工程。於林锋^[30]通过试验利用钢渣微粉、钢渣

砂和钢渣石配置固体废弃物大于或等于 30% 钢渣混凝土与普通混凝土相比较,试验结果表明,钢渣混凝土与普通混凝土性能基本一致,钢渣混凝土的抗折性能要优于普通混凝土,这将使得资源得到节约,经济效益得到提升。陈宏哲^[31]通过试验研究风淬钢渣替代部分砂对制备道路混凝土的和易性、泵送性能和力学性能的影响,试验结果表明,风淬钢渣混凝土的抗压强度和抗折强度高于普通混凝土,但其保水性能和可泵送性要差于普通混凝土。Li Zaibo^[32]通过对钢渣进行蒸发-冷凝浸出试验建立快速评价钢渣胶凝性能的方法,试验结果表明,相比传统试验方法,蒸发-冷凝浸出试验能够大幅提升钢渣胶凝性的测试速率,并具有较高精度。

综上所述,目前国外学者对于钢渣利用主要集中在粗骨料的利用上,国内的学者对于钢渣利用在掺合料应用较为成熟。但关于钢渣作为掺合料、部分再生粗骨替代天然粗骨料制备自密实混凝土鲜有报道。当前,人力资源短缺,自密实混凝土作为高性能混凝土将大有作为。钢渣和再生粗骨料双固体废弃料利用符合当前国际整体环境的利益,研究过程中既要考虑掺入钢渣和再生粗骨料是否符合自密实混凝土的工作性能要求,又要考虑所制备混凝土的强度能否满足实际工程实践需求,且要考虑最优的钢渣掺入量及钢渣掺入量对其影响。因此,本书研究掺钢渣再生骨料自密实混凝土是符合当前发展要求,且是一项具有创新性的研究工作。



注释

- [1] 张玉. 浅析混凝土对生态环境的影响[J]. 中国水泥, 2015(9): 56-59.
- [2] 肖建庄. 再生混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 丁树谦. 建筑垃圾循环利用[J]. 城市问题, 2009(9): 20-23.
- [4] 刘琴. 从国家中长期人才发展战略规划看钢渣利用专业人才培养[J]. 中国废钢铁, 2010(5): 31-34.
- [5] 陈邦. 我国钢渣碎细设备及钢渣加工技术现状[J]. 矿产综合利用, 2013(2): 3-6.
- [6] 杨建伟. 钢渣和含钢渣的复合矿物掺合料对混凝土性能的影响[D]. 北京: 清华大学, 2013.
- [7] 田惊雷. 钢渣在环境污染治理中的资源化利用[J]. 资源再生, 2013(01): 55-57.
- [8] Chaa W, Kimb J, Choib H. Evaluation of steel slag for organic and inorganic removals in soil aquifer treatment [J]. Water Research, 2006, 40: 1034.
- [9] 张朝晖, 廖杰龙, 巨建涛, 等. 钢渣处理工艺与国内外钢渣利用技术[J]. 钢铁研究学报, 2013(7): 1-4.

- [10] Abu-Eishaha A S, El-Diebb M S B. Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace(EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region[J]. Construction and Building Materials, 2012, 34: 246.
- [11] Motz H, Geiseler J. Products of steel slag an opportunity to save natural resources[J]. Waste Management, 2001, 21(3): 285-293.
- [12] Vlcek J, Tomkova V, Ovcacikova H. Slags from steel production: Properties and their utilization[J]. Metalurgija, 2013, 52(3): 329-333.
- [13] 石青. 美国钢铁渣工业的发展概况——钢铁渣综合利用考察报告[J]. 硅酸盐建筑制品, 1980(4): 31-35.
- [14] Zhao Jihui, Yan Peiyu, Wang Dongmin. Research on mineral characteristics of converter steel slag and its comprehensive utilization of internal and external recycle[J]. Journal of Cleaner Production, 2017(156): 50-61.
- [15] Gluzhge P J. The work of scientific research institute[J]. Gidrotekhnicheskoye Stroitel'stvo, 1946, 4: 27-28.
- [16] Anastasiou E, Filikas K, Stefanidou M. Utilization of fine recycled aggregates in concrete with fly ash and steel slag[J]. Construction and Building Materials, 2014(50): 154-161.
- [17] Maslehuddin M, Sharif A M, Shameem M, et al. Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes[J]. Construction and Building Materials, 2003(17): 105-112.
- [18] Raza K, Sharma S, Mall R, et al. Comparative strength analysis of concrete by using steel slag as an alternative to normal aggregates(Coarse) in concrete[J]. International Journal of Computer & Mathematical Science, 2014(6): 53-57.
- [19] 李永鑫. 含钢渣粉掺合料的水泥混凝土组成结构与性能的研究[D]. 北京: 中国建筑材料科学研究院, 2003.
- [20] 李翔. 低碳双掺钢渣混凝土的试验研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
- [21] 王强. 钢渣的胶凝性能及在复合胶凝材料水化硬化过程中的作用[D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [22] 赵计辉, 张大旺, 赵世娇, 等. 钢渣粉的胶凝性及其对水泥力学性能的影响[J]. 科学技术与工程, 2015(6): 222-241.
- [23] 胡益彰, 葛智. 含钢渣的复合矿物掺合料对胶凝材料及混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015(10): 2737-2742.

[24] 米贵东. 蒸养条件下钢渣粗骨料对混凝土的破坏作用[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2015, 55(9): 940-944.

[25] 孙小巍, 刘阳, 马建岩. 钢渣-矿渣基复合硅酸盐水泥试验研究[J]. 混凝土, 2015(7): 100-103.

[26] 吴福飞, 陈亮亮, 慈军, 等. 钢渣集料的形貌及对混凝土力学性能的增强效应[J]. 混凝土, 2015(12): 51-55.

[27] 信玉良, 侍克斌, 宋兴亮, 等. 钢渣替代粗骨料混凝土抗冲磨性能的试验研究及微观分析[J]. 混凝土, 2015(4): 86-89.

[28] 宋强, 胡亚茹, 李婷, 等. 矿渣、钢渣对水泥强度、孔结构和压蒸膨胀率的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015(7): 1762-1768.

[29] 徐兵, 於林锋, 顾文飞, 等. 钢渣混凝土配制及在护岸工程中的应用[J]. 混凝土, 2013(5): 154-157.

[30] 於林锋, 徐兵, 王琼, 等. 钢渣混凝土性能的试验研究及应用前景分析[J]. 混凝土, 2014(1): 79-81.

[31] 陈宏哲, 张雄, 毛若. 风淬钢渣替代砂在道路混凝土中的应用研究[J]. 建筑材料学报, 2009(6): 306-309.

[32] Li Zaibo, Zhao Sanyin, Zhao Xuguang, et al. Leaching characteristics of steel slag components and their application in cementitious property prediction[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012(199-200): 448-452.

2 材料的基本性能

掺钢渣再生骨料自密实混凝土属于高性能绿色混凝土,为了满足良好的工作性能、相应强度等技术要求,材料选择应满足相应材料规范要求。钢渣自密实混凝土原材料主要有胶凝材料、钢渣、骨料、外加剂、水等。本章主要根据本书所涉及的试验过程所用材料的基本性能进行介绍。

2.1 胶凝材料

2.1.1 水泥

水泥作为混凝土的基本胶凝材料,其组成成分决定其物理、化学特性,对混凝土性能起到决定性作用。掺钢渣再生骨料自密实混凝土对水泥无特殊要求,只要符合《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)^[1]规定即可。试验中采用的是张家港××水泥厂生产的海螺牌 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥,参考《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007),对水泥的主要物理、化学性能进行检测,基本性能指标如表 2.1 所示。

表 2.1 普通硅酸盐水泥性能指标

项目		测量值	标准限值
表观密度/(g/cm ³)		3.02	—
凝结时间	初凝时间/min	133	≥45
	终凝时间/min	197	≤390