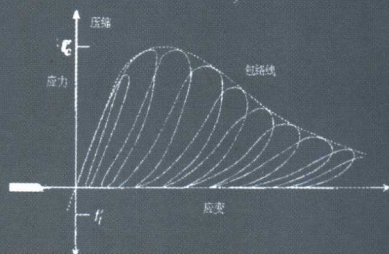
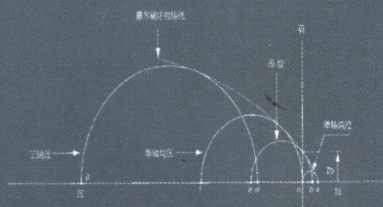
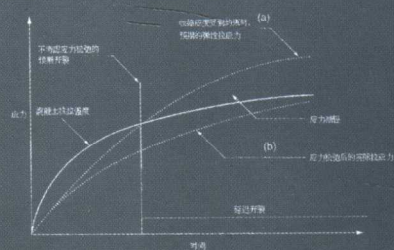
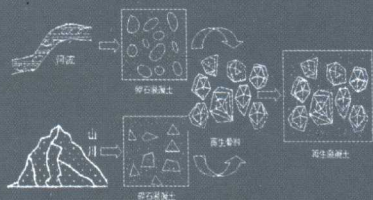


刘数华 冷发光 / 著

再生混凝土技术

TECHNOLOGY
OF RECYCLED
AGGREGATE CONCRETE

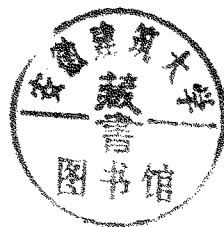


中国建材工业出版社

再生混凝土技术

Technology of Recycled Aggregate Concrete

刘数华 著
冷发光



中国建材工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

再生混凝土技术/刘数华, 冷发光著. —北京: 中国建材工业出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-80227-211-8

I. 再... II. ①刘... ②冷... III. 再生—混凝土—研究 IV. TU528

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 152493 号

内 容 简 介

本书是关于再生混凝土研究的专著, 主要内容包括: 再生混凝土的发展、再生骨料的基本特性、新拌再生混凝土的工作性、再生混凝土的力学性能、再生混凝土的变形性能、再生混凝土的耐久性、高性能再生混凝土、再生混凝土的经济评价和国外最新研究成果。

本书涵盖了涉及再生混凝土的主要内容, 可以作为混凝土及其制品生产单位的工作人员、建筑单位的施工人员、建筑材料研究院所的科研人员以及高等院校建筑材料专业教师和研究生的参考用书。

再生混凝土技术

刘数华 冷发光著

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: 787mm × 960mm 1/16

印 张: 12.75

字 数: 182 千字

版 次: 2007 年 1 月第 1 版

印 次: 2007 年 1 月第 1 次

书 号: ISBN 978-7-80227-211-8

定 价: 26.00 元

网上书店: www.ecool100.com

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

作者于2005年6月参加了在乌鲁木齐召开的“生态环境与混凝土技术国际学术研讨会”，很多与会学者，特别是日本学者，在再生水泥、再生混凝土等方面提出了自己的最新研究成果。相比之下，我国对于再生混凝土的研究既不高深，也不完整，还有许多工作有待进一步去完善。

相对来说，再生混凝土是一个新鲜事物，对于这种新鲜事物，我们更应理性对待。一方面，在应用方面要谨慎。由于我国在再生混凝土方面的研究应用还很少，特别是再生混凝土性能的离散性较大，因此，通常在工程（特别是重要工程）应用前应进行性能试验；另一方面，在研究方面应加大力度。目前对于再生混凝土的性能，特别是耐久性的研究，较为缺乏，还应广泛开展。

本书较为全面地阐述再生混凝土各方面的性能，主要包括再生混凝土的发展、再生骨料的基本特性、新拌再生混凝土的工作性、再生混凝土的力学性能、再生混凝土的变形性能、再生混凝土的耐久性、高性能再生混凝土、再生混凝土的经济评价和国外最新研究成果。内容的阐述从普通混凝土的性能过渡到再生混凝土，并针对再生混凝土的特有性能作进一步研究，最后提出高性能再生混凝土，该混凝土不仅具有良好的工作性，强度和耐久性也较高。

Mehta在混凝土材料领域取得了卓越的研究成果，本书的很多思想沿用了他的研究方法和研究成果。同时，本书还得到了硅酸盐材料工程教育部重点实验室（武汉理工大学）开放课题基金的资助，项目编号：SYSJJ2006-02。

由于作者的学识和时间原因，书中不尽完善之处，请读者不吝赐教！

作者

2006年11月于清华园

目 录

第1章 再生混凝土的发展	1
第一节 混凝土材料的发展	1
一、近代混凝土的发展	1
二、高性能混凝土	4
第二节 再生混凝土的发展	7
一、再生混凝土的问世	7
二、再生混凝土的研究应用状况	11
三、再生混凝土与可持续发展	17
第2章 再生骨料的基本特性	19
第一节 再生骨料的生产和加工	19
第二节 再生骨料的基本特性	24
一、骨料在混凝土中的作用	24
二、再生骨料的粒形、表面结构和级配	25
三、再生骨料的表观密度、堆积密度和空隙率	28
四、再生骨料的吸水特性	30
五、再生骨料的强度	33
六、再生骨料的强化	39
第三节 再生骨料的分类	41
第3章 新拌再生混凝土的工作性	43
第一节 新拌混凝土的流变特性	43
第二节 新拌再生混凝土的工作性	44
一、单位用水量对流动性的影响	45
二、水灰比和骨灰比对工作性的影响	46
三、砂率对工作性的影响	48

四、组成材料的特性对工作性的影响	48
五、时间和温度对工作性的影响	51
六、新拌再生混凝土的离析和泌水	52
第4章 再生混凝土的力学性能	55
第一节 再生混凝土强度的影响因素	55
一、孔隙率	56
二、材料特性与配合比	58
三、养护条件	64
第二节 再生混凝土的其他强度	67
一、抗拉强度	67
二、抗折强度	69
三、抗剪强度	70
四、与钢筋的粘结强度	71
第三节 混凝土的应力-应变行为	71
一、单轴压应力下混凝土的应力-应变行为	72
二、单轴拉应力下混凝土的行为	74
第5章 再生混凝土的变形性能	77
第一节 弹性行为	78
一、应力-应变关系	78
二、弹性模量	79
三、泊松比	80
四、弹性模量的影响因素	80
五、再生混凝土的弹性行为	82
第二节 干缩和徐变	83
一、荷载和湿度条件	84
二、可逆性	84
三、影响因素	85
四、再生混凝土的干缩与徐变	89
第三节 热变形	91
一、温升	92

二、混凝土的热膨胀系数	93
三、其他热学性能	95
第四节 延展性与开裂	96
第6章 再生混凝土的耐久性	99
第一节 混凝土损坏的整体模型	99
第二节 渗透性	101
一、水,破坏的介质	102
二、渗透性	103
三、再生混凝土的渗透性	106
第三节 抗冻耐久性	107
一、冰冻作用对硬化水泥浆的影响	108
二、冰冻作用对骨料的影响	110
三、控制混凝土抗冻耐久性的因素	111
四、再生混凝土的抗冻耐久性	114
第四节 硫酸盐侵蚀	115
一、硫酸盐侵蚀中的化学反应	116
二、硫酸盐侵蚀的控制	117
三、再生混凝土的化学侵蚀	118
第五节 表面磨损	119
第7章 高性能再生混凝土	121
第一节 高强再生混凝土的正交试验	121
一、高强再生混凝土的配制	121
二、试验结果分析	123
第二节 高性能再生混凝土试验研究	127
一、高性能再生混凝土的配合比	127
二、高性能再生骨料混凝土的性能	128
三、分析与讨论	129
第三节 单轴受压应力-应变行为	134
一、普通混凝土的单轴受压应力-应变行为	134
二、再生混凝土的单轴受压应力-应变行为	135

三、再生混凝土的单轴受拉应力-应变行为	137
四、再生混凝土的抗压强度、抗拉强度和抗折强度之间的关系 ...	137
第8章 再生混凝土的经济评价	141
第9章 国外再生混凝土的最新研究成果	145
一、简介	145
二、再生骨料的加工	147
三、再生骨料的性能	149
四、新拌再生混凝土	152
五、硬化再生混凝土	152
附1 细骨料的相关试验方法	153
附2 粗骨料的相关试验方法	169
附3 骨料的洛杉矶系数试验	187
主要参考文献	191

第 1 章

再生混凝土的发展

第一节 混凝土材料的发展

最广泛使用的结构材料是混凝土，通常是用硅酸盐水泥与砂、石子及水拌制而成的。据资料统计，全世界水泥 2004 年产量已达到 20 亿 t，混凝土年使用量大约为 30 亿 m^3 ^[1]，可以说，混凝土是社会建设中使用量最大的一种材料。作为近代最广泛使用的建筑材料，也是当前最大宗的人造材料，它在市政、桥梁、道路、水利以及军事等领域发挥着不可替代的作用和功能，成为现代社会文明最重要的物质基石。而且，国内外专家普遍认为，在今后相当长的时期，混凝土仍将是应用最广、用量最大的建筑材料。

一、近代混凝土的发展

混凝土材料在历史上可以追溯到很古老的年代。不过最初使用的胶结材料是黏土、石膏、气硬性石灰，继后又采用火山灰、火山灰 + 气硬性石灰、水硬性石灰等。1824 年，J. Aspdin 发明波特兰水泥后，生产混凝土的胶结材料产生了质的飞跃。此后，水泥与混凝土的生产技术迅速发展，混凝土用量急剧增加，使用范围日益扩大。至今，它已成为世界上用量最大的人造材料。这是因为混凝土具有原料丰富、造价低廉、制作简单、造型方便、坚固耐久、维修费低、耐火抗震等优越性。但混凝土同时又存在抗拉强度和抗折强度低、脆性系数大、容易开裂、自重大等缺点，这些缺点又限制了混凝土

的使用范围。为了改善混凝土的性能,克服这些缺陷,在硅酸盐水泥发明后一百多年的混凝土发展过程中,特别是最近 50 年内,混凝土材料历经了许多重大的变革。

1850 年,法国 Lambot 用加钢筋网的方法制造了一条小水泥船。此后,建筑界就用钢筋来增强混凝土,以弥补混凝土抗拉强度和抗折强度低的缺陷。钢筋与混凝土的复合材料,大大促进了混凝土在各类工程结构上的应用。1887 年, M. Koenen 首先发表了钢筋混凝土的计算方法。1918 年, Duff. Abrams 发表了著名的计算混凝土强度的水灰比理论。

对混凝土配筋虽然使混凝土可用于受弯和受拉构件,但并未解决混凝土容易开裂的问题。用张拉钢筋对混凝土预先施以压应力的方法可以保证混凝土构件在荷载作用下既能抗拉又不致形成裂纹,特别是应用高强材料时,预应力方法最为有效。1928 年,法国 E. Freyssinet 提出了混凝土收缩和徐变理论,采用了高强钢丝和发明了预应力锚具,为预应力技术在混凝土工程上的应用奠定了基础。

预应力混凝土的出现,是混凝土技术的一次飞跃。它是通过外部条件对混凝土改性。由于预应力技术在大跨建筑、高层建筑以及在抗震、防裂、抗内压等方面的卓越效果,从而大大地扩展了混凝土的应用范围。强度等级 C100 的预应力混凝土在重量上即可与钢结构相近。这样,大部分的钢结构工程就可用预应力混凝土结构代替。目前,混凝土的应用已从一般的工业与民用建筑、交通建筑、水工建筑等领域扩展到海上浮动建筑、海底建筑、地下建筑、高压储罐、核电站容器等领域。

利用膨胀水泥或加入膨胀剂生产收缩补偿混凝土和自应力混凝土是混凝土技术的另一突出成就,其本质是变混凝土的收缩本性为膨胀本性,以克服混凝土收缩开裂并应用膨胀性能张拉钢筋。这是一种内外条件相结合的改性,广泛应用于工业与民用建筑、路面、储罐自应力管、防水防渗结构、管道接头、构件接缝、二次灌浆等方面。

高效减水剂的应用是近年来混凝土技术的重大发展。在混凝土

混合料中掺入减水剂可以大幅度降低水灰比(0.25, 甚至更低)和提高强度, 或者急剧提高新拌混凝土的流动性, 使其在拌制、运输、浇筑和成型等工艺过程变得容易, 并使硬化混凝土的性能得到改善。目前, 由于技术和经济上的优越性, 减水剂已成为混凝土中应用最普遍的外加剂。

制作聚合物浸渍混凝土、聚合物水泥混凝土以及聚合物胶结混凝土, 使混凝土进入了使用有机和无机复合胶结材料和高分子有机胶结材料的新阶段。聚合物进入混凝土材料中, 大大提高了混凝土的物理力学性能。例如聚合物浸渍混凝土的抗压强度和抗拉强度较其基材可提高2~4倍(最高抗压强度可达250~280MPa)。这种混凝土有很高的耐腐蚀性能, 它几乎不吸水、不渗水, 抗渗压力可达5MPa, 抗冻融循环在1100次以上。

尽管混凝土可以达到很高的抗压强度, 但相对而言, 其抗拉强度却提高不多, 拉压比总是保持在1/10左右。混凝土破损时, 表现出典型的脆性材料突然破坏的特点。这个缺点大大地限制了混凝土材料的应用范围。为了降低混凝土的脆性, 提高其延性, 人们进行了长期的研究, 提出了分散配筋。1940年, 意大利L. Nervi提出了钢丝网水泥这种配筋材料, 使得配筋混凝土具有某些均质材料的性能, 于是出现了大跨度的钢筋混凝土建筑物和薄壳结构。后来, 人们更进一步提出了纤维配筋的概念。由于纤维对混凝土的分散配筋, 大大提高了混凝土的抗裂性能, 增加了混凝土的延性。目前, 石棉纤维、耐碱玻璃纤维、有机合成纤维、金属纤维等均应用于纤维增强混凝土中。提高混凝土材料的拉压比、降低其脆性的研究探索工作目前仍在继续进行。除开分散配筋外, 改变混凝土脆性的最基本问题是要减少其微观结构中离子键的分量, 增加共价键、次价键甚至金属键的分量, 以期降低混凝土中键的方向性和饱和性。因此, 混凝土材料也正沿着从单纯的无机非金属材料向有机与无机相结合、金属与非金属相结合的方向发展。

由于混凝土技术的不断进步, 特别是近期以来的快速发展, 世界各国使用的混凝土平均强度不断提高。例如, 20世纪30年代混凝

土平均强度等级为 C10, 60 年代为 C30, 而目前 C60 混凝土已经普遍使用, C100 及以上的混凝土也用于某些工程。

二、高性能混凝土

当代工程结构的跨度、高度和承受的荷载越来越大, 所处环境也更为严酷, 这就要求混凝土有更好的力学性能和更高的抵抗环境侵蚀的能力。进入 20 世纪 70 年代以来, 许多已建混凝土工程, 特别是一些早年修建的桥梁等基础设施, 由于混凝土老化引起的问题日渐突出, 其维修或更新不仅耗资巨大, 而且还会严重扰乱正常的生产和生活秩序。混凝土作为用量最大的人造材料, 其原材料都来自天然资源, 这就不能不考虑它的使用对生态环境的影响。未来的混凝土必须从根本上减少水泥用量, 更多地利用各种工业废料作为其原材料, 充分考虑废弃混凝土的再生利用; 未来的混凝土又必须是高性能的, 尤其是高耐久性, 耐久和高强都意味着节约资源。现代高强混凝土和高性能混凝土就是在这样一种背景下发展起来的。

1. 高性能混凝土的定义

1990 年 5 月, 美国国家标准与技术研究所 (NIST) 和美国混凝土协会 (ACI) 在美国召开的会议上首先正式提出高性能混凝土这一名词的定义。“高性能混凝土” (High Performance Concrete, HPC), 这个名词的出现至今已有十多年了。但不同国家、不同学者对高性能混凝土有不同的定义和解释, 不同的工程和应用部门对于高性能混凝土也有不同的要求, 会提出不同的指标。

Mehta 等美国学者认为^[2], 高性能混凝土应拥有优良的工作性、高强度和高耐久性, 而非仅仅要求高强度; 冈村等日本学者认为^[3], 高性能混凝土应具有高工作性 (高的流动性、粘聚性与可浇筑性)、低温升、低干缩率、高抗渗性和足够的强度; 我国已故院士吴中伟教授认为^[4], 高性能混凝土是一种新型高技术混凝土, 是在大幅度提高普通混凝土性能的基础上采用现代混凝土技术制作的混凝土, 它以耐久性作为设计的主要指标。针对不同的用途要求, 高性能混凝土对下列性能有重点地予以保证: 耐久性、工作性、适用性、强

度、体积稳定性、经济性。为此,高性能混凝土在配制上的特点是低水胶比,选用优质原材料,除水泥、水、骨料外,必须掺加足够数量的矿物细掺料和高效减水剂。

简而言之,高性能混凝土应具有优良的施工性能和使用性能。高性能混凝土技术的核心不是单纯地追求工程效果,而是注重社会效益和人类生存环境的可持续发展。

2. 高性能混凝土的特点

(1) 低水胶比

水胶比是混凝土强度最重要的影响因素,为了获得高强度混凝土,只有水胶比低,混凝土的孔隙率或渗透性才可能降低。低水胶比是保证混凝土高耐久性与较高强度的前提条件之一。室内试验研究表明,水胶比低于0.4的高性能混凝土渗透性很小,甚至不渗,在侵蚀环境条件下仍能保持长期的耐久性^[2]。因此,高性能混凝土的水胶比通常为0.20~0.40。

(2) 掺加高效减水剂

高效减水剂能保证混凝土拌合物有良好的工作性能,是配制高性能混凝土的必备材料,减水率通常高于20%。

(3) 掺加粉煤灰、磨细矿渣和硅粉等火山灰活性材料

这些火山灰活性材料不仅可以改善混凝土的工作性,而且可以大幅度提高混凝土强度和耐久性。

(4) 控制最大骨料粒径

控制骨料的粒径可有效地减小骨料与水泥石之间界面过渡区的负面效应,高性能混凝土骨料的粒径一般为10~30mm,且针状、片状颗粒含量要少。

3. 高性能混凝土的最新研究进展

作为一种材料或一种产业,节约资源、能源也是为了自身能够持续存在和发展。水泥混凝土作为最大宗的人造材料,对资源、能源的需求和对环境的影响十分巨大。混凝土能否长期作为最主要的建筑结构材料,关键在于能否成为可持续发展材料。随着社会的进步,科技的发展,混凝土的科技含量也与日俱增,而且从资源、能

源、环境等角度分析,混凝土材料与环境协调性好,资源与能耗相对较少,生态化含量较高。因此,混凝土能够成为一种可持续发展的材料,而且仍将是21世纪最重要的工程材料。高性能混凝土的意义在于使水泥混凝土这种大宗材料得到可持续发展,即如何最大限度地节约资源和能源,最好地与环境友好协调。

经过国内外研究学者数十年的努力,在高性能混凝土研究上取得了一定的进展,进一步提出了绿色高性能混凝土。

随着近代世界人口的急剧增长及工业、交通的迅速发展,地球承受的负担剧增,加上资源的过度消耗和环境的日益恶化,人类的生存环境受到严重威胁。因此,1992年,联合国在巴西召开世界环境与发展大会,之后,绿色事业日益受到全世界的重视。绿色的含义随着人们认识的提高而不断扩大,吴中伟教授^[4]将其概括为:(1)节约资源、能源;(2)不破坏环境,更应有利于环境;(3)可持续发展,保证人类后代能健康、幸福地生存下去。1997年,他首先提出“绿色高性能混凝土”(Green High Performance Concrete, GHPC)的概念,并指出将绿色高性能混凝土作为今后混凝土的发展方向。

从高性能混凝土的含义与组成材料来看,它已经含有很多的“绿色”要素,也使传统混凝土向绿色混凝土迈进一大步。绿色高性能混凝土是在强调高性能混凝土的环境亲和性的基础上,更进一步把传统混凝土设计和制备的每一个环节与可持续发展战略结合起来,要求从每个环节入手提高高性能混凝土的绿色含量,更严格、更有计划地利用资源和能源,加大对工业和城市废弃物的有效利用,提高高性能混凝土的性能以扩大应用范围,将对环境的破坏减小到最低。这不仅是水泥混凝土和土建工程继续健康发展的需要,更是人类生存和发展所必需的。

总之,绿色高性能混凝土应具有以下特征^[5]:

(1) 砂石料的开采应十分有序,不应过分破坏环境,应更多地节约熟料水泥,减少环境污染;

(2) 更多地掺加以工业废渣、优质粉煤灰为主的细掺料,改善环境,减少二次污染,同时提高混凝土的性能;

(3) 更大地发挥高性能混凝土的优势, 减少水泥和混凝土的用量;

(4) 将高性能混凝土的强度底限降到 C30, 扩大绿色高性能混凝土的应用范围, 但要以不损及混凝土内部结构的性质与发展为度, 保证耐久性、体积稳定性等重要性质。

正是伴随着“绿色”概念的提出和延展, 再生混凝土应运而生。

第二节 再生混凝土的发展

一、再生混凝土的问世

混凝土材料是人类文明建设中不可缺少的物质基础。随着人类文明的不断前进, 混凝土材料的人均消费量越来越大, 与此同时产生的环境问题也越来越显著。根据欧洲水泥协会统计资料, 1900 年时全世界水泥总产量约为 1000 万 t, 如果以每立方米混凝土平均水泥用量为 250kg 计算, 则 1900 年全世界浇筑的混凝土仅为 4000 万 m^3 ; 到了 1998 年, 全世界混凝土的生产量发展到 64 亿 m^3 , 每人每年平均消费混凝土 1 m^3 多。中国混凝土产量约占世界总产量的 45%, 约 13 亿 ~ 14 亿 m^3 。据资料介绍, 2000 年我国水泥混凝土的用量已达 20 亿 m^3 。这需要耗费水泥多达 5 亿 t, 砂石 30 多亿 t。而每生产 1t 水泥又要耗费 1.10t 石灰石, 0.25t 黏土, 115kg 煤和 108 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 电, 还有其他辅助原料, 并且产生 1t CO_2 。可见水泥混凝土工业不仅能源与资源消耗巨大, 而且排出大量 CO_2 和 NO, 污染环境^[6]。

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、用之不竭的原材料而不被重视, 随意开采, 甚至滥采滥用。结果造成山体滑坡、河床改道, 严重破坏自然环境。而且随着世界人口的日益增多, 建筑业作为国民经济的支柱产业也有了突飞猛进的发展, 对砂石骨料的需求量不断增长。由于长期开采造成的资源枯竭, 使得原有砂石骨料源源不断的现象也不复存在, 建筑业的可持续发展与骨料短缺的矛盾日益突出。在一定意义上讲, 天然

砂石属于不可再生资源，它们的形成需要漫长的地质年代。如果不加限制地开采，不久我们将面临天然骨料短缺，就如当前的煤炭、石油、天然气一样。

另一方面，也正是由于建筑业迅速发展，建筑垃圾堆积如山。根据日本建设省的统计，各产业界所有废弃物中属于建筑废弃物的约为40%，1995年度全国建筑垃圾就达9900万t；美国每年仅废弃的混凝土大约就有6000万t，欧洲共同体废弃的混凝土已增加到16200万t左右。而据专家统计，我国每年新建房屋约6.5亿m²，每万平方米排出垃圾约500~600t，全年仅施工建设产生和排出的建筑垃圾近4000万t。除此之外，旧建筑的拆除垃圾也不容忽视，每平方米旧建筑拆除垃圾约0.5~0.7t，旧房拆除面积按新建面积的10%计算，则房屋拆除垃圾在4000万t左右，以上两项合计，我国建筑垃圾每年产生量约8000万t^[7]。而且，解放初期浇筑的许多混凝土与钢筋混凝土结构物，大部分已进入老化毁坏阶段，城市改造建设也会拆除部分老的建筑与结构，解体混凝土今后将越来越多。

如此巨大的建筑垃圾的处理费用可想而知，而由此引发的环境问题也很明显（如对耕地的占用、景观的破坏、粉尘对环境的污染等）。因此，建筑垃圾的再生利用已成为世界各国共同关注的课题，也由此引发了对建筑垃圾再生利用的深入研究。

建筑垃圾是在建筑物的建设、维修、拆除过程中产生的，大多为固体废弃物。一般按其产生源进行分类，即拆除建筑物产生的垃圾（简称拆除垃圾）和建造建筑物时施工产生的垃圾（简称施工垃圾）。

（1）土地开挖：分为表层土和深层土。前者可用于种植，后者主要用于回填、造景等；

（2）道路开挖：分为混凝土道路开挖和沥青道路开挖；

（3）旧建筑物拆除：分为砖和石头、混凝土、木材、塑料、石膏和灰浆、钢铁和非铁金属等几类；

（4）建筑工地垃圾：分为剩余混凝土（工程中没有使用掉而多余出来的混凝土、建筑碎料）、凿除、抹灰等产生的旧混凝土、灰浆

等矿物材料、木材、纸、金属和其他废料等类型。

显然,按建筑垃圾的来源对其进行分类并没有将它真正分开,应根据建筑垃圾的主要材料类型或成分对其进行分类^[8]。

对建筑垃圾的详细分析是处理建筑垃圾的基础。目前,对建筑垃圾的含义没有明确的定义,不过不同结构类型的建筑物所产生的垃圾各种成分及组成比例虽不相同,但其基本组成是一致的,主要由土、渣土、散落的砂浆和混凝土,剔凿产生的砖石和混凝土碎块,打桩截下的钢筋混凝土桩头、金属、沥青、竹木材,装饰装修产生的废料,各种包装材料和其他废弃物等组成,具体的组成如图 1-1^[9]所示,按照德国对建筑垃圾的分类方法,其建筑垃圾的组成及所占比例见表 1-1^[10]。

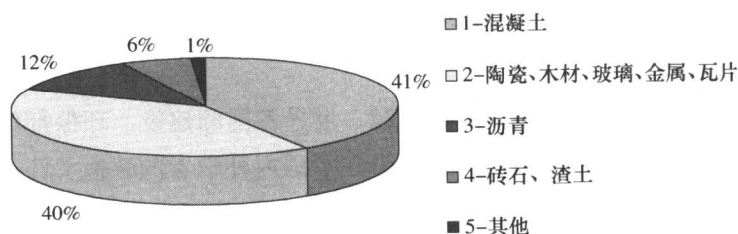


图 1-1 建筑垃圾的组成

表 1-1 德国建筑垃圾分类及 1992 年产生量

垃圾组成	施工垃圾组成比例 (%)			占材料购买量的比例 (%)
	砖混结构	框架结构	框架剪力墙结构	
碎砖 (碎砌块)	30 ~ 50	15 ~ 30	10 ~ 20	3 ~ 12
砂浆	8 ~ 15	10 ~ 20	10 ~ 20	5 ~ 10
混凝土	3 ~ 15	15 ~ 20	15 ~ 35	1 ~ 4
桩头	/	8 ~ 15	8 ~ 20	5 ~ 15
包装材料	5 ~ 15	5 ~ 20	10 ~ 20	/
屋面材料	2 ~ 5	2 ~ 5	2 ~ 5	3 ~ 8
钢材	1 ~ 5	2 ~ 8	2 ~ 8	2 ~ 8
木材	1 ~ 5	1 ~ 5	1 ~ 5	5 ~ 8
其他	10 ~ 20	10 ~ 20	10 ~ 20	/
单位建筑面积产生施工垃圾量 (kg/m ²)	50 ~ 200	45 ~ 150	40 ~ 150	/