公路施工技术丛书

路面再生技术

LUMIAN ZAISHENG JISHU

唐　娴　李晓明　袁卓亚　编著

中国建筑工业出版社

公路施工技术丛书

路面再生技术

唐　娴　李晓明　袁卓亚　编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

路面再生技术/唐娴等编著. —北京：中国建筑工业出版社，2009

（公路施工技术丛书）

ISBN 978-7-112-11072-8

Ⅰ. 路… Ⅱ. 唐… Ⅲ. 再生资源－应用－沥青路面 Ⅳ. U416.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 102177 号

公路施工技术丛书

路面再生技术

唐 娴 李晓明 袁卓亚 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京华艺制版公司制版

北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：15⅜ 字数：442 千字

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月第一次印刷

定价：**35.00** 元

ISBN 978-7-112-11072-8

（18315）

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本书根据2007年和2008年中国行业标准颁布的最新规范、规程和标准，系统介绍了沥青路面和水泥混凝土路面再生的基本类型、旧路性能评价、再生结构层和混合料设计的基本原理、施工工艺、施工过程所需的机械设备、施工质量控制及最终的验收标准等内容。最后通过工程实例来说明沥青路面和水泥混凝土路面再生的适用条件及注意事项。

本书对沥青路面和水泥混凝土路面再生方法的理论进行了适当介绍，简洁易懂，概念清晰，利于理解，文字通俗易懂，便于自学理解。可适合于从事公路养护管理、设计、施工和监理的技术人员学习和参考，也可作为交通类高职高专院校公路养护管理专业的教学用书。

*　　*　　*

责任编辑：王　磊　王美玲
责任设计：张政纲
责任校对：王金珠　陈晶晶

公路施工技术丛书编委会

顾　　问：冯治安

主任委员：李修忠

副主任委员：邵景干　贾绍明　朱建斌

编　　委：（按姓氏笔画为序）

王亚琼　王　航　王穗平　付立军

田国华　刘　江　许宏科　李　杰

李晓明　李　哲　张　弦　陈景星

邵　平　胡霞光　施笃筝　赵豫生

袁卓亚　唐　娴　黄振华　梁全富

彭余华　韩　熠　魏　进

秘　　书：王国晓　张占锋

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

总　　序

近年来，我国公路交通事业保持了持续快速健康发展的好势头，交通基础设施建设取得瞩目成就。截至2008年年底，我国公路网总里程已达373万公里（包括农村公路172万公里），其中高速公路通车里程为6.03万公里。目前公路施工等领域的相关从业人员，包括施工、监理以及项目管理人员，亟需一套公路施工方面的工具书，来指导自己的工作，以保证工程质量、提高工作效率。

公路施工技术丛书基本涵盖了当今公路施工领域所涉及的各个方面，它不仅包括道路、桥梁和隧道施工技术、施工监理，也包括道路、桥梁和隧道的检测、维护和运营管理等方面的内容。本套丛书的作者包括高等院校的老师、工程项目管理人员以及工程技术负责人，他们的共同特点就是拥有丰富的实践经验，具备扎实的理论功底，并且他们都十分了解行业的发展动态，从而保证了这套丛书的实用性和特色。

本套丛书可以作为公路工程的施工技术人员、监理人员以及项目管理人员的工具书，同时也可以作为大专院校相关专业学生的学习参考书。

前　言

本书按照“高速公路养护与管理”专业人才培养目标对“沥青路面和水泥混凝土路面的再生技术”课程的基本教学要求，依据我国2007年和2008年的最新行业标准和规范编写而成。

本书的内容注重理论内容的精炼，突出实践内容的重要性，以“实用”为宗旨。在重要章节的内容编写过程中，附有工程实例设计，体现知识与能力的结合，力求反映职业教育的教材特点。

本书主要针对沥青路面和水泥混凝土路面两种再生路面结构，其中沥青路面再生分为热再生和冷再生，热再生又分为厂拌热再生和就地热再生；而冷再生又分为厂拌冷再生和就地冷再生。对于水泥混凝土路面来说，根据目前的工艺与技术条件，分为冲击破碎、碎石化技术两种再生利用技术途径。针对不同的再生类型，介绍了再生的基本类型、路用性能评价、再生结构层和混合料设计的基本原理、施工工艺、施工过程所需的机械设备、施工质量控制及最终的验收标准等相关内容。结合工程实例说明这些再生工艺的应用情况。

全书分为八章。第一、二、三、五、六章由陕西交通职业技术学院唐娴编写；第四章由陕西省交通厅科教处李晓明编写；第七、八章由西安公路研究所袁卓亚编写；全书由唐娴和李晓明修改定稿。

本书的编写过程中，得到陕西交通职业技术学院薛安顺、张鹏、张省侠、邹艳琴、殷青英、焦莉、丰培洁、郭红兵、翁光远

等人的大力支持，他们为本书提出了许多宝贵的意见和建议，在此对他们表示感谢。

本书在编写的过程中，得到了西安公路管理局王斌斌、西安公路局三秦公司田军、陕西省高速机械化公司李海和周强等专家学者和技术人员的大力帮助，在此表示衷心感谢！同时，参考了大量的国内外文献，在书末的参考文献中均已列出，特此向作者表示感谢。

尽管在编写时作出很大努力，但由于全国各地区差异很大，很难全面收集各单位的新技术、新材料、新工艺、新设备以及相关实用技术，加之作者水平有限，经验不足，疏漏或错误之处在所难免，敬请读者批评指正并提供详细资料，以便修订完善。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2009 年 7 月

目　录

第一章　绪论……（1）
第一节　路面再生应用问题的提出 ……（1）
第二节　路面再生技术应用和研究现状 ……（5）
第三节　路面再生方法 ……（13）
第二章　沥青路面就地冷再生……（15）
第一节　概述 ……（15）
第二节　沥青路面就地冷再生机理 ……（19）
第三节　沥青路面就地冷再生旧路路况调查及评价 ……（22）
第四节　沥青路面就地冷再生设计 ……（24）
第五节　沥青路面就地冷再生施工工艺 ……（31）
第六节　沥青路面就地冷再生施工质量控制 ……（42）
第七节　水泥就地冷再生基层的设计应用 ……（47）
第八节　冷再生基层的施工应用 ……（72）
第三章　沥青路面厂拌冷再生……（98）
第一节　概述 ……（98）
第二节　沥青路面厂拌冷再生旧路的性能评价 ……（99）
第三节　沥青路面厂拌冷再生混合料设计 ……（103）
第四节　沥青路面厂拌冷再生基层施工工艺 ……（110）
第五节　沥青路面厂拌冷再生施工质量控制 ……（119）
第六节　沥青路面厂拌冷再生工程应用 ……（126）

第四章　沥青路面热再生……（144）
第一节　概述 ……（144）
第二节　旧沥青路面的性能评价 ……（145）
第三节　旧沥青路面热再生方法 ……（151）
第四节　旧沥青路面热再生机理 ……（160）
第五节　热再生沥青混合料设计 ……（184）
第六节　厂拌热再生施工工艺 ……（201）
第七节　就地热再生的施工工艺 ……（220）
第八节　厂拌热再生工程实例 ……（244）
第九节　就地热再生工程实例 ……（250）
第五章　水泥混凝土路面碎石化再生……（257）
第一节　概述 ……（257）
第二节　碎石化的强度形成机理 ……（262）
第三节　旧路路况调查及评价 ……（266）
第四节　碎石化后路面结构设计 ……（270）
第五节　碎石化的施工工艺 ……（282）
第六节　碎石化的施工质量控制 ……（289）
第七节　碎石化的技术应用 ……（293）
第六章　冲击压路机破碎水泥混凝土路面再生……（303）
第一节　概述 ……（303）
第二节　冲击压路机及其工作特性 ……（309）
第三节　冲击破碎的工作机理 ……（318）
第四节　旧路状况调查与路面性能评价 ……（329）
第五节　破碎水泥混凝土路面结构加铺设计 ……（338）
第六节　冲击碾压旧水泥混凝土路面的施工工艺 …（349）
第七节　冲击破碎水泥混凝土路面的施工质量控制 ……（356）
第八节　冲击破碎旧水泥混凝土路面应用 ……（364）

第九节　冲击破碎加铺沥青路面工程应用 …… (381)
第十节　打裂压稳旧水泥混凝土路面再生 …… (383)
第十一节　旧混凝土路面破碎再生技术对比 …… (391)
第七章　乳化沥青冷再生…… (397)
第一节　乳化沥青冷再生材料性能评价 …… (397)
第二节　乳化沥青再生混合料设计方法 …… (416)
第三节　乳化沥青冷再生路面工程实例 …… (427)
第八章　泡沫沥青冷再生…… (435)
第一节　沥青的发泡原理与性能评价 …… (435)
第二节　泡沫沥青混合料的物理力学性能 …… (439)
第三节　泡沫沥青冷再生混合料的设计 …… (450)
第四节　泡沫沥青冷再生混合料的基本性能 …… (463)
第五节　拌合用水量对泡沫沥青混合料的性能影响 …… (466)
第六节　养生条件对泡沫沥青混合料的性能影响 …… (476)
参考文献…… (479)

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

第一章 绪 论

第一节 路面再生应用问题的提出

2005年11月，国际可再生能源大会在北京人民大会堂胜利召开，会议强调指出加强可再生能源开发利用，是应对日益严重的能源和环境问题的必由之路，也是人类社会实现可持续发展的必由之路。加强全球合作，妥善应对能源和环境挑战，实现社会、经济可持续发展。随着世界经济的不断发展，能源和环境问题日益突出，如果能源和环境问题得不到有效解决，不仅人类社会可持续发展的目标难以实现，而且人类的生存环境和生活质量也会受到严重影响。

2006年1月1日，中国将正式实施《可再生能源法》，坚持以科学发展观统领经济社会发展全局，加快调整经济结构，转变经济增长方式，提高自主创新能力，发展循环经济，保护生态环境，进一步加大发展可再生能源的力度，促进经济发展与人口、资源、环境相协调，努力建设资源节约型、环境友好型社会。使可再生能源在人类经济社会发展中发挥更大作用，造福各国人民。

一、沥青路面再生

目前，我国的公路建设飞速发展，每年投资规模已经超过2000亿元。在20世纪90年代以后陆续建成的高速公路已进入大、中修期，大量的翻挖、铣刨沥青混合料被废弃，造成环境污

染。而公路建设又极为缺乏优质的沥青材料和石料，大量的使用新石料、开采石矿会导致森林植被减少、水土流失等严重的生态环境破坏。

截止2004年我国公路总里程达185.6万km，按照沥青的设计寿命15~20年测算，从现在起，每年约有12%的沥青路面需要翻修。可再生的沥青混合料预计将达到每年1900万t，还将以每年15%的速度增长。10年以后，我国沥青路面的大、中修产生的旧沥青混合料预计将达到8000万t左右。若全部再生利用，每年可节约直接材料费120亿元。国家“十一五”规划的编制建议中提出，今后我国的资源利用效率要显著提高，单位国内生产总值能源消耗要比“十五”期末降低20%左右。因此研究沥青再生技术、推广和应用沥青再生技术，对降低建设成本、合理利用资源、保护生态环境以及促进我国公路建设都有着极其重大的意义。

我国公路建设发展迅速，到2005年全国高速公路里程已超过4万km，位居世界第二位。我国东部地区已初步形成高速公路网，一级、二级公路近20万km。其中绝大部分是沥青路面。如何管好、养好这些公路已是目前我国公路部门面临的重要课题。高速公路每公里约需耗用沥青350~400t，到2004年，我国道路沥青需求总量已突破1000万t。根据中国政府发布的国家高速公路规划，2050年中国的高速公路覆盖地区的人口将超过10亿人，覆盖地区的GDP将占全中国的85%，高速公路总里程将达到8.5万km。中国经济发展将面临越来越突出的资源代价和环境代价的问题，中国政府多次强调“发展循环经济”的政策是实现中国经济持续增长，也是给路面再生利用提供了良好的发展契机。

二、水泥混凝土再生

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

类文明的不断进步，混凝土材料的人均消费量越来越大，同时带来的环境问题也越来越严重。根据欧洲水泥协会统计资料，1900 年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 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约为 $1m^3$ 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 多亿吨。而每生产 1t 水泥需要耗费 1.10t 石灰石，0.25t 黏土，115kg 煤和 108kW·h 电和其他辅助原料，最后产生 1t 二氧化碳。可见水泥混凝土工业不仅能源与资源消耗巨大，而且排出大量二氧化碳和一氧化氮污染环境。

长期以来，由于砂石集料来源广泛，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。结果造成山体滑坡、河床改道，严重破坏自然环境。随着世界人口的日益增多，公路建设及建筑业作为国民经济的支柱产业有了突飞猛进的发展，对砂石材料的需求量不断增长。由于长期开采造成的资源枯竭，使得建筑业可持续发展与集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，就如当前的煤炭、石油、天然气一样，会出现集料短缺的局面。

再生混凝土就是将这些废弃混凝土块就地回收，经破碎、清洗、分级后作为集料再利用，生产再生混凝土并用到新建建筑物上，不仅能降低成本，节省天然集料资源，还能减轻环境污染。而且我国优质的天然集料（河砂、卵石）在有些地区已趋枯竭，许多地区合格的混凝土用砂也供应紧张。一些大城市已经越来越

找不到高性能混凝土所需的级配良好的粗砂，从外地远距离运输费用又很高。将废弃混凝土块经破碎、清洗、分级和按一定比例配合后得到的“再生集料”作为部分或全部集料代替天然集料配制混凝土即为再生混凝土（也称再生集料混凝土，Recycled Aggregate Concrete，RAC）。将废弃混凝土破碎作为再生集料既能解决天然集料资源紧缺的问题，保护集料产地的生态环境，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，这是未来的发展方向。

混凝土俗称为人工石，不仅在使用功能上可作为石头使用，从其组织结构上也类似于某些天然岩石。混凝土的凝结硬化是一个非常缓慢的过程，28d 的水泥水化程度只有 60% 左右。一些资料表明，混凝土经过 20 年的时间，其水泥的水化还未完全结束，还存在有利于混凝土硬化的活性成分。因此，如果把废弃混凝土破碎后，用作再生集料拌制成新的混凝土，不会对再生混凝土的强度发展产生较大的不良影响。普通混凝土的破坏是由于在荷载作用下微裂缝的发展而致，一般来说由于集料本身的强度较高，并不发生破坏。因此，废弃混凝土中的集料还有再利用的价值。同时针对再生集料的特点，可以通过充分破碎来改善粒形，减小再生集料中存在的薄弱因素，使界面结构得到加强，能解决日益增多的环境污染问题，充分利用再生资源，实施可持续发展战略，在满足当代发展的同时，造福子孙后代，为后代留下一个可持续利用的资源环境。

相对于再生混凝土，用来生产再生集料（Recycled Concrete Aggregate，RCA）的混凝土称原生混凝土或基体混凝土。原生混凝土经过破碎、分级，再按一定比例相互配合后，得到的集料称为再生集料。再生集料按照粒径大小分为再生粗集料（粒径大于 5mm）和再生细集料（粒径为 0.16 ~ 5mm）。

第二节 路面再生技术应用和研究现状

一、国外研究现状

（一）沥青路面再生

沥青混合料再生利用技术，是将需要翻修或废弃的沥青路面，经过翻挖、回收、破碎，用新集料、新沥青材料适当配比，重新拌合，经整平压实，形成满足路用性能的再生沥青混合料，用于铺筑路面面层或基层的整套技术。它基本适用于各种沥青路面修筑，可节省绝大部分集料及约50%的沥青，使用效果与新沥青混合料相当。沥青混合料的再生利用，减少了新材料的使用和费用，降低了筑路成本。据美国联邦公路局的调查，可节约材料费超过50%，路面造价降低约25%，沥青节约约50%。由于石油价格的猛涨，沥青路面的大量修建，沥青路面施工和养护费用激增，资源和环境问题日趋严峻，因此推行沥青路面再生技术刻不容缓。

1915年，美国就开始对沥青路面再生利用进行研究。1973年爆发石油危机后，美国对沥青路面再生利用技术才重新引起重视，在全国范围内进行广泛研究，于20世纪80年代末90年代初进入工业试验阶段，到90年代末美国再生沥青混合料的用量几乎为全部路用沥青混合料的50%，且在再生剂开发、再生混合料的设计、施工设备的研究等方面日趋成熟。近年来，各种沥青材料再生设备和路面重铺机组相继问世，技术性能日趋完善，完全能再生利用旧沥青材料。沥青路面的再生利用技术在美国非常成熟，材料的重复利用率高达80%。美国每年再生利用的沥青混合料约为5亿t，综合考虑计算可直接节约材料费15亿~20

亿美元。沥青路面再生相比全部使用新沥青材料的路面，节约成本10%～30%。原联邦德国是最早将再生料应用于高速公路路面养护的国家，1978年就将全部废弃沥青路面材料加以回收利用。

美国得克萨斯州交通协会和得克萨斯农机大学化学系的研究人员对旧沥青抽提过程的问题进行了深入研究，着重考察回收过程中旧沥青的老化、溶剂的分离、各种溶剂回收沥青的能力以及再生剂组成等。通过试验发现旧沥青在回收过程中会存在不同程度的老化与硬化现象，硬化程度取决于溶剂类型、试验方法等因素。研究人员主要是从溶剂、试验方法、试验设备、试验时间等方面对传统方法进行改进。

20世纪90年代后期，美国佐治亚州用再生沥青混合料与新沥青混合修建试验路段，并进行跟踪观测，与新沥青路段进行比较，发现两者无明显质量差别，孔隙率、针入度、黏度等各项指标比较接近。佐治亚州交通部对其再生混合料设计及质量控制比较满意，已在该州沥青路面规范中加入了相关内容。

日本从1976年到现在路面废料再生利用率已超过70%，于1984年制订了《路面废料再生利用技术指南》，对路面再生利用材料的配合比设计、拌合厂、施工与质量检测等方面做出了一些指导性的建议与规定。日本2000年再生沥青混合料已达50万t，占全年沥青混合料产量的58%，日本每个拌合站都具备生产再生混合料的能力。

综观欧美等国沥青路面再生利用技术研究发展状况，这些国家特别重视再生实用技术的研究，已形成一套比较完整的再生技术，达到了规范化和标准化的程度。

（二）水泥混凝土路面再生

第二次世界大战后，日本、美国、欧洲等国家就开始了再生混凝土的研究和开发利用工作，到现在已召开数次有关废弃混凝土再利用专题的国际会议。早在1977年，日本政府就制定了

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com