

GAODENGJIGONGLU
LIQINGLUMIANZAISHENGJISHU



高等级公路 沥青路面再生技术

徐剑 黄颂昌 邹桂莲 编著



人民交通出版社

China Communications Press

Gaodengji Gonglu Liqing Lumian Zaisheng Jishu
高等级公路沥青路面再生技术

徐 剑 黄颂昌 邹桂莲 编著

人 民 交 通 出 版 社

前 言

公路工程,既是关系国民经济和社会发展全局的民生工程,又是资源占用和能源消耗大户。在实现公路本身固有交通功能的同时,减少建设养护过程的工程性破坏,实现公路工程的低能耗、低排放、低污染、循环再造,是推动交通产业转型、建设资源节约型和环境友好型交通行业的重要一环。

经过几十年的发展,我国公路基础设施日益完善,公路维修养护和升级改造任务日趋繁重。采用沥青路面再生技术对公路维护工程产生的废旧路面材料进行循环利用,是交通行业实现可持续发展的必然选择。将沥青路面再生技术用于公路维护,一是可以矫正路面病害,改造路面结构,延长路面寿命;二是可以实现废旧路面材料的再生利用,减少维护工程的能源消耗和废弃材料的环境污染;三是可以降低工程造价,一举三得。

沥青路面再生技术在欧美发达国家是成熟、普及的技术。我国在 20 世纪 80 年代曾不同程度地利用旧沥青混合料修路,但在当时的技术、材料、设备等条件下,再生材料一般只用于轻交通路面、路面垫层和非机动车道。从 20 世纪 80 年代后期开始,伴随着我国高等级公路的大规模建设,新建公路沥青路面几乎不再使用废旧路面材料,沥青路面再生技术退居次要位置,相关研究推广工作基本处于停滞状态。近几年,我国高等级公路大量进入大修和升级改造阶段,废旧路面材料的再生利用问题重新得到重视,相关技术研究、产品开发和推广应用迅速展开,目前沥青路面再生技术已在我国绝大多数省区得到应用。为指导和规范沥青路面再生技术应用,保证再生工程质量,交通运输部于 2008 年发布实施了《公路沥青路面再生技术规范》(JTG F41—2008)。

沥青路面再生不是一项单一的技术,而是一类技术的总称,它包括厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生、就地冷再生等不同类型的再生技术,技术较复杂,技术难度较大。该技术在我国的推广应用时间较短,研究积累和工程经验相对欠缺,工程技术人员在实际工作中经常遇到这样或那样的问题和困惑。笔者有幸参与了交通运输部《公路沥青路面再生技术规范》(JTG F41—2008)的编制,以及一些沥青路面再生的科研项目、再生工程设计与技术服务、再生技术推广等工作,现将积累的研究成果、应用经验和切身体会等进行总结,编著成书,供广大关心从事沥青路面再生的工程技术人员和管理人员参考。

本书凝聚了很多业内同行的心血和智慧。张丽宾、孙荣山、杨红旗、侯小明参

与编写第一章,柳浩、薛忠军参与编写第二章第五节、第四章第四节,张金喜参与编写第一章第四节和第五节、第二章第二节、第三章第四节,张新天、祁欣参与编写第二章第一节、第六节,崔丽参与编写第二章第七节,沈国平、虞勇智、李国锋、蒋鹤、周卫东参与编写第五章和第六章的部分内容,秦永春参与编写第三章的部分内容。李峰、石小培、秦志山、徐海平等同志为本书完成了大量试验工作。笔者谨向所有为之辛勤付出的单位和个人表示衷心感谢。

由于沥青路面再生技术在不断发展,部分技术问题还存在一定争议,有待进一步研究和检验,本书部分观点和论述可能有失偏颇,欢迎同行们批评指正。

作者
2010 年 10 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 我国沥青路面面临的新形势.....	1
第二节 沥青路面再生技术分类与特点.....	3
第三节 国内外应用概况.....	6
第四节 再生利用的相关政策	13
第五节 沥青路面再生方式的选择	21
第六节 沥青路面再生的社会效益	28
第二章 热再生沥青混合料	34
第一节 沥青老化与老化沥青的再生	34
第二节 废旧沥青路面材料(RAP)	46
第三节 沥青再生剂	60
第四节 热再生沥青混合料与热再生路面性能	68
第五节 热再生沥青混合料配合比设计方法	73
第六节 改性沥青和改性沥青混合料的热再生	97
第七节 沥青混合料的二次热再生.....	102
第八节 沥青路面再生相关试验方法.....	105
第三章 冷再生沥青混合料	122
第一节 乳化沥青.....	122
第二节 泡沫沥青.....	127
第三节 沥青类冷再生混合料抗拉、抗水损坏、抗车辙性能.....	132
第四节 沥青类冷再生混合料抗压、干缩、疲劳性能.....	139
第五节 水泥的作用及水泥剂量对冷再生混合料性能的影响.....	152
第六节 国外沥青类冷再生混合料配合比设计方法与步骤.....	164
第七节 我国沥青类冷再生混合料配合比设计方法.....	178
第八节 冷再生混合料相关试验方法.....	191
第四章 厂拌热再生技术	195
第一节 厂拌热再生的适用性.....	195
第二节 厂拌热再生生产设备.....	200
第三节 厂拌热再生生产施工工艺.....	206
第四节 工程案例.....	213

第五章 就地热再生技术	220
第一节 就地热再生的分类与适用性.....	220
第二节 就地热再生设备.....	225
第三节 就地热再生施工.....	233
第四节 工程案例.....	240
第六章 厂拌冷再生技术	256
第一节 厂拌冷再生适用性及路面结构组合.....	256
第二节 厂拌冷再生混合料的生产设备与生产工艺.....	262
第三节 厂拌冷再生路面施工.....	265
第四节 工程案例.....	269
第七章 就地冷再生技术	277
第一节 就地冷再生的适用性与路面结构组合.....	277
第二节 就地冷再生施工设备.....	279
第三节 就地冷再生施工工艺与质量控制.....	283
第四节 工程案例一.....	287
第五节 工程案例二.....	303
第六节 工程案例三.....	313
参考文献	320

第一章 绪 论

第一节 我国沥青路面面临的新形势

公路交通运输是综合运输体系的重要组成部分,是国家的基础性、先导性产业,关系国民经济和社会发展的全局。公路交通基础设施是提供公路交通服务的物质基础和根本保证。拥有庞大、完善、完好的公路网,是经济社会发展的基本特征和综合竞争力的重要体现。自 1988 年京石、沈大、沪嘉高速公路通车,实现了我国大陆高速公路零的突破以来,以高速公路为标志,我国公路事业进入了突飞猛进、最具活力的崭新阶段。至 2009 年年底,我国大陆公路总里程达到 386.08 万 km,其中二级及以上高等级公路里程 42.52 万 km,包括高速公路 6.51 万 km,公路总里程和高速公路里程均位居世界第二位。

公路事业的跨越式发展,为国家经济社会进步提供了强有力的保障。公路工程是关系到国民经济和社会发展全局的民生工程,对国民经济的发展起着不可替代的支撑作用。但是,公路建设与养护又占用了大量的自然资源和消耗了大量的能源,对周边的生态环境也产生着直接或间接的影响,带来了一系列环境污染问题。在完成公路本身固有交通功能的同时减少建设性破坏,是“十二五”科技发展总体布局的有机组成部分和亟待研究解决的重要课题,对实现生态的平衡与和谐,创造优美的环境,实现交通产业转型、建设“资源节约和环境友好型”交通行业具有重要意义。

尤其是进入 21 世纪以来,面对气候变化对人类生存和发展造成的威胁,面对日趋严峻的资源能源形势,面对不断变化的交通荷载情况,面对群众日益提升的出行需求,现有公路养护技术体系已经难以满足经济社会的发展需要,迫切要求我们站在国民经济和社会发展全局的战略高度,按照中央的要求,深刻认识做好公路养护工作的重大现实意义和深远历史意义,积极发展低碳养护技术、公路循环再造技术、节能增效养护技术,形成新一代公路基础设施维护技术体系,切实转变增长方式,走资源节约、环境友好的交通发展之路。公路基础设施建设和养护过程的节能降耗和循环再造工作一直受到党中央、国务院的高度重视。国务院副总理张德江在 2010 年全国交通运输工作会议上指出,要“围绕建设畅通高效、安全绿色交通运输体系的目标,转变发展方式……着力推进交通运输快速发展、高效发展、安全发展、绿色发展,为经济社会发展提供强有力的交通运输保障”。而目前我国公路建设与养护过程中能源和资源消耗过多、环境污染较大的问题依然普遍存在,其中废旧路面材料再利用问题尤为突出。

(1)公路建设需要消耗大量的材料(图 1-1)。近几年来,我国道路建设和养护的年沥青用量均维持在 1 000 万 t 以上,按照混合料的油石比(沥青与石料的质量比)平均 4%测算,每年需要消耗石料 2.5 亿 t,约合 1 亿 m³,如果砌成截面面积 1m² 的墙,可绕地球赤道 2.5 圈。按照交通运输部《公路水路交通“十一五”发展规划》,十一五期间我国将新增高速公路里程 2.4 万 km,新增二级以上公路里程 12.4 万 km。假设新增里程中 80%为沥青混凝土路面,20%为

水泥混凝土路面,按照平均路面宽度 12m,沥青路面面层厚度 18cm(水泥混凝土路面 25cm)计算,需要消耗沥青混凝土 2.1 亿 m^3 、水泥混凝土 0.74 亿 m^3 ,如果砌成截面面积 1m^2 的墙可绕地球赤道 7 圈。

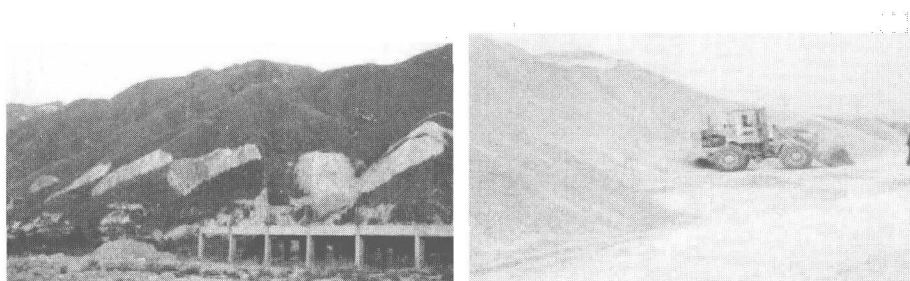


图 1-1 道路建设和养护需要消耗大量石料

(2)公路大中修养护会产生大量废旧路面材料(图 1-2)。按照 10 年的大中修周期测算,我国公路每年大中修养护里程约 3.5 万 km,以平均路面宽度 10m、平均翻修厚度 10cm 测算,每年公路大中修工程产生废旧路面材料 3 500 万 m^3 ,可以堆出 13 个胡夫金字塔,砌成截面面积 1m^2 的墙则几乎可以绕地球赤道 1 圈。我国 8.5 万 km 的国家高速公路网建成后,每年高速公路路面大中修规模将达到 8 000km 以上,超过目前每年高速公路新建成通车规模,按照平均翻修厚度 10cm 计算,届时每年产生的废旧路面材料数量与目前每年新建成高速公路面层所需材料数量相当。此外,我们还有 24.6 万 km 城市道路,道路面积 42.4 亿 m^3 ,这些城市道路的维修同样产生大量废旧路面材料。这些测算数字不一定准确,但却反映出废旧路面材料问题的严重性。

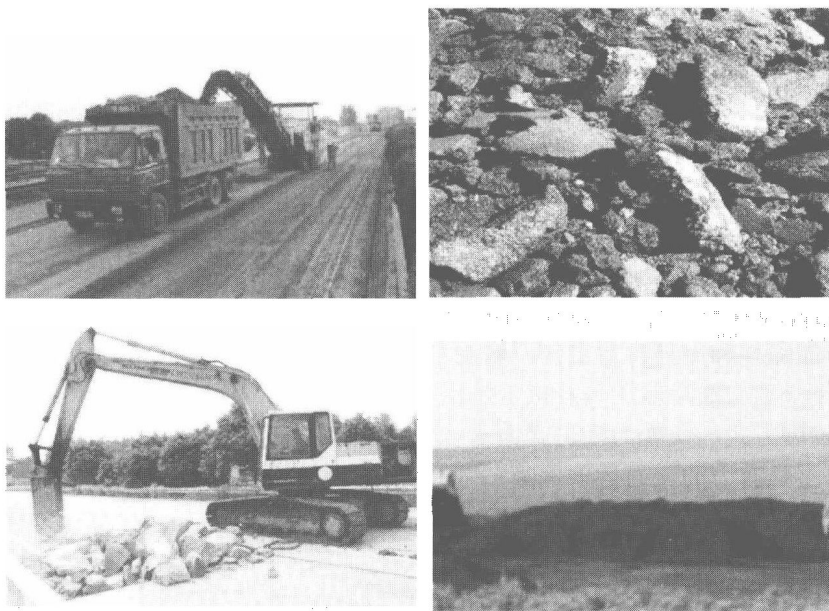


图 1-2 道路大中修养护产生大量废旧材料

(3)沥青路面所需的沥青、砂石等材料是不可再生资源。道路石油沥青作为石油工业产品之一,是不可再生资源,日益短缺。近年来,随着国际石油价格的持续走高,沥青价格飞涨,成

为影响公路建设养护的重要制约因素。砂石材料同样是重要的资源,大量使用砂石材料必然会造成森林植被减少、水土流失等生态环境破坏。

(4)沥青、砂石等宝贵的筑路材料作为路面结构的最主要组成部分,在使用一段时间后,尽管其整体的路用性能已经不能满足路面使用要求,但是作为材料本身而言还有很高的利用价值,完全可以通过再生利用,使其重新满足路用性能的要求。

将废旧路面材料再生循环应用于道路基础设施建设和养护,变废为宝,形成一个符合循环经济模式的产业链,可以避免废弃材料堆放对土地的占用和对环境的污染,可以减少对石料、沥青、水泥的需求,并降低筑养路成本,符合“谁产生,谁处理”的环境保护原则。否则的话,这些材料将作为建筑垃圾废弃,必然造成严重的资源浪费和环境污染,与建设资源节约型行业的要求背道而驰。

在这样的形势下,大力发展符合循环经济模式的沥青路面再生技术,在沥青路面生产、建设过程中节约资源,提高资源利用效率,减少损失浪费,以尽可能少的资源消耗,创造尽可能大的经济社会效益,实现科学发展,具有十分重要的现实意义。

(1)有利于保障公路巨额国有资产安全和投资效益发挥。截至2009年年底,我国公路总里程达386.08万km,二级及以上高等级公路总里程42.52万km(含高速公路6.51万km),这是一笔巨额的国有资产。路面工程是公路基础设施中投资大、影响出行直接、资源能源消耗多、环境影响大、养护需求大的关键工程,是公路巨额国有资产的重要组成部分。公路路面材料在大中修养护中废弃,将造成巨额国有资产流失和浪费,大幅降低公路建设所消耗的土地、资源、能源的投入产出比,要求必须进行循环利用。

(2)是“资源节约型和环境友好型”交通发展之路的必然要求。公路发展必须以“可持续发展”理念为宗旨,而不能以对资源过度消耗和环境污染为代价。近年来,公路发展面临的土地、能源、环境压力越来越大,要求必须自觉服务于经济社会发展的需要,协调好经济与社会、人与自然的的关系,走“资源节约型和环境友好型”交通发展之路,保证公路事业的健康、持续发展,实现交通增长方式的根本性转变和“绿色交通”的目标。

(3)是实现公路产业结构优化升级的客观需要。改革开放以来,为了缓解公路交通对经济社会发展的瓶颈制约状态,我国开始了大规模的高等级公路建设,带动了公路建设领域的施工、材料、设备、加工、制造等相关行业的整体技术进步,但是却忽视了公路建设养护过程的材料循环利用技术的研究应用。面对日趋严峻的资源和环境形势,继续沿用传统的增长方式推进公路交通发展难以为继,迫切需要研究开发公路建设养护领域的节能降耗和资源综合利用,实现公路产业结构的优化升级。

第二节 沥青路面再生技术分类与特点

沥青路面再生技术不是单一技术,而是一类技术的总称。美国沥青路面再生协会(AR-RA)将沥青路面再生技术分为冷铣刨(Cold Planing)、热再生(Hot Recycling)、就地热再生(Hot In-Place Recycling)、冷再生(Cold Recycling)、全深式再生(Full Depth Reclamation)5类。其中就地热再生又按照工艺不同划分为表面再生(Resurfacing)、复拌再生(Remixing)、加铺再生(Repaving);冷再生划分为就地冷再生(Cold In-Place Recycling)、厂拌冷再生

(Cold Central Plant Recycling);全深式再生又进一步细分为破碎(Pulverization)、机械稳定(Mechanical Stabilization)、沥青稳定(Bituminous Stabilization)、化学稳定(Chemical Stabilization)4 种类型,如图 1-3 所示。

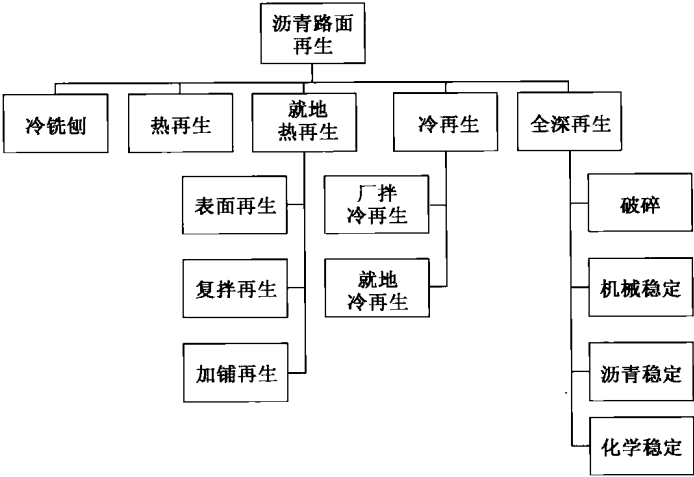


图 1-3 美国沥青路面再生协会(ARRA)的沥青路面再生技术分类

《公路沥青路面再生技术规范》(JTG F41—2008)根据我国的实际情况,将沥青路面再生技术分为厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生、就地冷再生 4 类,其中就地热再生又根据再生工艺的不同分为复拌再生和加铺再生,就地冷再生根据再生深度的不同分为沥青层就地冷再生和全深式就地冷再生,见图 1-4。

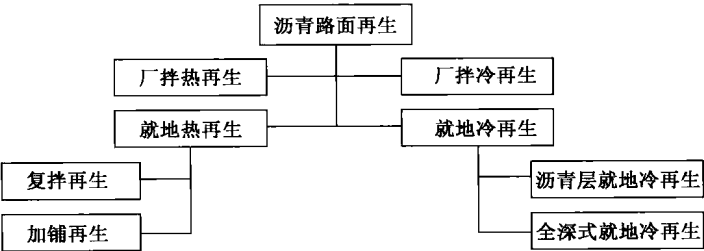


图 1-4 我国对沥青路面再生技术的划分方法

一、厂拌热再生

厂拌热再生是将废旧沥青路面材料(RAP)运至沥青拌和厂(场、站),经破碎、筛分,以一定的比例与新集料、新沥青、再生剂(必要时)等拌制成热拌再生混合料铺筑路面的技术(图 1-5)。其主要功能是修复沥青路面面层病害,恢复甚至改善沥青路面混合料的路用性能,以热拌沥青混合料的形式实现旧路面沥青层材料的再生利用。

厂拌热再生适用于对各等级公路 RAP 进行热拌再生利用,再生后的沥青混合料根据其性能和工程情况,可用于各个等级公路的沥青面层及柔性基层。其优点是再生工艺易于控制,再生后的沥青混合料性能比较理想,且适用范围广;缺点是 RAP 需要运输,而且 RAP 的掺配比例相对较低。

二、就地热再生

就地热再生是采用专用的就地热再生设备,对沥青路面进行加热、铣刨,就地掺入一定数量的新沥青、新沥青混合料、再生剂等,经热态拌和、摊铺、碾压等工序,一次性实现对表面一定深度范围内的旧沥青混凝土路面再生的技术(图 1-6)。它可以分为复拌再生、加铺再生两种方式。其主要功能是修复沥青路面表面层病害,恢复沥青表面层物理力学性能,恢复沥青路面平整度,修复沥青路面车辙,实现旧路面沥青层材料的就地再利用。

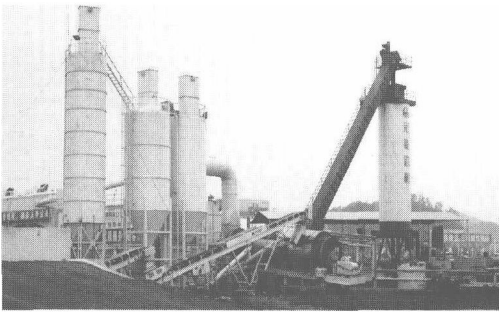


图 1-5 厂拌热再生的拌和现场



图 1-6 就地热再生的施工现场

就地热再生适用于仅存在浅层轻微病害的高速公路及一、二级公路沥青路面表面层的就地再生利用,再生层可用作上面层或者中面层。就地热再生的优点是就地实现沥青路面的再生利用,节省了材料转运费用;缺点是再生深度有限(一般不超过 5cm),级配调整幅度有限,且无法除去已经不适合进行再生的旧混合料。

三、就地冷再生

就地冷再生是采用专用的就地冷再生设备,对沥青路面进行现场冷铣刨、破碎和筛分(必要时),掺入一定数量的新集料、再生结合料、活性填料(水泥、石灰等)、水,经过常温拌和、摊铺、碾压等工序,一次性实现旧沥青路面再生的技术。它包括沥青层就地冷再生(图 1-7)和全深式就地冷再生(图 1-8)两种方式。其主要功能是实现旧沥青路面层的翻修、重建,实现旧路面沥青层材料的常温拌和及就地再利用。

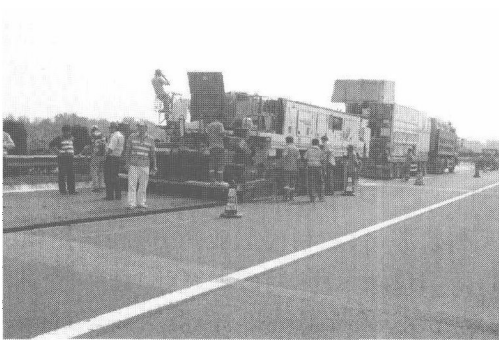


图 1-7 沥青层就地冷再生的施工



图 1-8 全深式就地冷再生的施工

就地冷再生适用于一、二、三级公路沥青路面的就地再生利用,经论证后可用于高速公路。就地冷再生的优点是就地实现再生利用,节省了材料转运费用,施工过程能耗低、污染小,适用范围广;缺点是施工质量控制的难度相对较大,一般需要加铺沥青罩面层。

四、厂拌冷再生

厂拌冷再生是将 RAP 运至拌和厂(场、站),经破碎、筛分,以一定的比例与新集料、沥青类再生结合料、活性填料(水泥、石灰等)、水进行常温拌和,常温铺筑形成路面结构层的沥青路面再生技术(图 1-9)。其主要功能是以冷拌沥青混合料的形式实现旧路面沥青层材料的再生利用,恢复和改善旧沥青混合料的路用性能。



图 1-9 厂拌冷再生混合料的拌制

厂拌冷再生适用于对各等级公路的 RAP 进行冷拌再生利用,再生后的沥青混合料根据其性能和工程情况,可用于高速公路和一、二级公路沥青路面的下面层及基层、底基层,三、四级公路沥青路面的面层(需加上封层)。厂拌冷再生的优点是再生工艺易于控制,再生混合料性能较好,适用范围广,能耗低,污染小;缺点是 RAP 需要运输,再生混合料强度的形成需要较长的时间,且一般需要加铺一定厚度的罩面层。

各种不同形式的沥青路面再生方式,各有其优缺点,各有其适用场合,是互补的关系,而不是一种技术淘汰另外一种技术。使用时应进行充分论证和科学决策,选择最适合的沥青路面再生技术。

第三节 国内外应用概况

一、国外应用概况

1. 国外普及情况

沥青路面再生技术在发达国家的应用是比较成熟和普及的。美国是最早研究使用沥青路面再生与再利用技术的国家,可以追溯到 1915 年;但是直至 20 世纪 70 年代石油危机之后,该技术才开始得到高度重视。到 20 世纪 80 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一半,80% 的旧沥青混合料得到再生利用。1981 年美国交通运输研究委员会编制出版了《路面废料再生指南》,1983 年又出版了《沥青路面冷拌再生技术手册》。

图 1-10 是美国公路合作研究组织(NCHRP)统计的美国各州再生技术应用情况。标记为灰色的各州表示常规普遍采用再生技术,主要包括亚利桑那州、加利福尼亚州、伊利诺伊州、艾奥瓦州、堪萨斯州、马里兰州、密歇根州、明尼苏达州、奈伯拉斯卡州、新墨西哥州、纽约州、北达科他州、俄亥俄州、宾夕法尼亚州、得克萨斯州、弗吉尼亚州、威斯康星州、怀俄明州等;标记为深灰色的各州为根据工程实际单独批准使用再生技术。

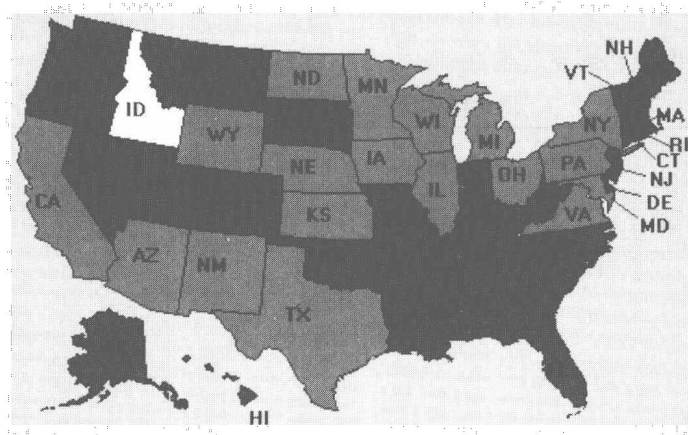


图 1-10 美国各州沥青路面再生技术应用普及情况

日本由于能源匮乏,一直很重视再生技术的研究,从 1976 年至今,路面废料再生利用率已超过 70%。1984 年,日本道路协会出版了《路面废料再生利用技术指南》。西欧国家也十分重视这项技术,欧洲沥青路面协会(EAPA)各成员国的废旧沥青路面材料再生利用率达到 100%。联邦德国是最早将再生料应用于高速公路路面维修的国家;芬兰几乎所有的城镇都组织旧路面材料的收集和储存工作,过去再生材料主要用于低等级公路的路面和基层,近几年已开始应用于重交通道路上;法国目前对再生技术的研究也颇为重视,在高速公路和一些重交通道路的路面修复工程中开始逐步推广应用这项技术;前苏联对沥青路面再生技术研究较早,先后出版了《沥青混凝土废料再生利用技术》、《旧沥青混凝土再生混合料技术准则》等规范,提出了适于各种条件下再生利用的方法。国外部分沥青再生技术出版物见表 1-1。

国外部分沥青再生技术指南、标准、规范

表 1-1

时间(年)	国 家	出 版 物
1966	前苏联	《沥青混凝土废料再生利用技术的建议》
1979	前苏联	《旧沥青混凝土再生混合料技术准则》
1981	美国	《路面废料再生指南》
1981	美国	《沥青路面热拌再生技术手册》
1981	联邦德国	《热拌再生沥青混凝土施工规范》
1983	美国	《沥青路面冷拌再生技术手册》
1983	英国	《热拌沥青混凝土基本规范》
1984	前苏联	《再生路用沥青混凝土》
1984	日本	《路面废料再生利用技术指南》
1994	联邦德国	《再生沥青混凝土施工指南》
2004	德国	《维特根冷再生技术手册》
2006	美国	《美国沥青再生指南》
2009	南非	《沥青稳定混合料技术规范》(修订)

1997 年国际经济合作组织(OECD)发表的《道路工程再生利用战略》白皮书显示,主要发达国家的沥青路面再生利用率普遍在 80%以上,详细情况见表 1-2。

发达国家沥青路面再生利用情况

表 1-2

国家 类别	澳大利 亚	奥地利	比利时	加拿大	丹麦	芬兰	法国	日本	荷兰	瑞典	英国	美国
利用率(%)	80	80	100	90	90	95	—	80	100	75	90	80
厂拌热再生	G	G	G	G	G	G	G	G	G	—	G	G
厂拌冷再生	—	L	—	L	—	—	G	—	—	G	L	L
就地热再生	L	L	—	L	G	G	G	—	G	G	L	L
就地冷再生	L	—	—	L	—	G	G	—	—	L	—	L
基层/沥青	—	L	—	L	—	L	G	—	L	L	—	—
基层/水泥	G	G	G	—	—	—	G	G	G	—	G	—
基层/水泥和沥青	—	G	—	—	—	—	G	—	L	—	G	—
底基层	—	G	—	G	L	L	G	G	G	—	L	G
填料	G	—	—	—	—	L	—	—	—	—	G	L
其他	G	—	—	—	—	—	—	—	—	—	G	—

注:G 表示普遍采用,L 表示有限采用。

在几种再生方式中,厂拌热再生的应用最为广泛。按照美国联邦公路局(FHWA)的统计,美国每年产生 RAP 约 4 500 万 t,其中有 33%采用厂拌热再生的方式再生利用,其他再生方式合计消耗 RAP 约 47%;而就地热再生技术的使用相对较少,按照美国联邦公路局的统计,美国有 32 个州使用该技术,其中 22 个州为试验性使用,有 10 个州较多采用,但每年工程量也在 5 个以内;1994 年的调查数据显示,美国有 32 个州在使用冷再生技术,其中加利福尼亚州、印第安纳州、堪萨斯州、新墨西哥州、俄勒冈州、宾夕法尼亚州等几个州用量较大,而就地冷再生的用量可能超过了厂拌冷再生。

2. 路用性能情况

美国国家沥青路面协会(National Asphalt Pavement Association,简称 NAPA)认为,20 年的工程应用经验证明,热拌沥青混合料(HMA)可以反复地再生用于公路建设中。美国联邦公路局(FHWA)有关路面再生的报告显示,通过设计和质量控制得到的再生 HMA 的长期路面性能与传统的 HMA 相当。实际上,它可以改善现有路面层材料的性能。研究还证明,再生路面与使用 100%新集料的路面的耐久性是不同的。使用厂拌、就地热再生、就地冷再生可以节省材料和建设成本分别达 40%、50%、67%。与普通的维修技术相比,还可以通过减少交通的影响而显著降低用户费用。

(1) 厂拌热再生

厂拌热再生在美国是最普及的筑路技术,也是路面再生技术中最普及的类型。佛罗里达州从 1978 年以来一直使用厂拌热再生,室内试验和现场测试结果均表明,使用厂拌热再生的路面与不使用厂拌热再生的路面性能没有明显差别,甚至表现更好。佛罗里达州交通部门还发布了相关规范指导工程实践。

美国路易斯安那州自 1983 年起对 1978~1982 年通车的 10 个项目进行了再生沥青路面和普通沥青路面的性能变化规律的研究, 研究结果列于表 1-3~表 1-6。

路面现有耐用性指数 PSI

表 1-3

评估年(年)	再生沥青路面	普通沥青路面
1	4.1	4.0
2	4.1	4.1
3	4.1	4.0
4	3.4	3.6
5	3.9	4.0

注: PSI 英文全称为 Pavement Serviceability Index。

路面病害等级 PDR

表 1-4

评估年(年)	再生沥青路面	普通沥青路面
1	23.5	23.8
2	22.7	22.9
3	22.4	22.6
4	21.9	22.2
5	21.5	21.9

注: PDR 英文全称为 Pavement Distress Rating。

路面状况等级 PCR

表 1-5

评估年(年)	再生沥青路面	普通沥青路面
1	44.2	43.9
2	43.0	43.4
3	42.7	42.7
4	39.0	40.1
5	41.0	42.0

注: PCR 英文全称为 Pavement Condition Rating。

路面服务能力 t 分布统计结果

表 1-6

参 数	再生路面平均值	普通路面平均值	差异显著性
PSI	3.9	4.0	—
PCR	41	42	无
PDR	21.5	21.9	无
纵向裂缝	3.1	2.1	有
横向裂缝	3.2	2.7	无
车辙	3.8	4.6	无

注: 1. 统计的显著性水平为 95%。

2. PSI 没有足够的变量统计差异显著性。

从上述数据看,仅有纵向裂缝指标存在显著差异,其他指标均没有显著差异,而且再生沥青路面的三大综合指数的平均值都与普通路面很接近。对于纵向裂缝,研究者指出主要是在接缝处发生,和混合料性能关系不大,而主要受施工工艺的影响。

美国佐治亚州、堪萨斯州、路易斯安那州、马萨诸塞州、明尼苏达州、华盛顿、怀俄明州等地的研究和跟踪观测结果也表明,厂拌热再生混合料的路用性能和使用寿命不低于、甚至显著高于普通热拌沥青混合料。日本通过大量数据分析,对再生沥青路面的平整度、车辙和路面状况指数(MQI)变化规律与普通沥青路面比较,也证明再生沥青路面的耐久性和采用全部新材料的普通沥青路面没有显著性差异,路面使用状况令人满意。

(2)就地热再生

J. W. Button, D. N. Little 和 C. K. Estakhri 等人所做的全美各州就地热再生使用情况调查结果显示,22 个州的就地热再生使用状况评价为优良,部分就地热再生工程路用性能不佳,主要是由原路面技术状况较差,不适用该技术造成的。比较有代表性的是,纽约在 1987~1992 年间实施了 8 个就地热再生工程,其中 6 个工程位于日均交通量 9 000~62 000 辆车的州际公路上,所有路段截至 1992 年全部使用状况良好。

(3)冷再生

新墨西哥州在 1984~1997 年间实施了 120 个就地冷再生工程,R. G. McKeen, D. I. Hanson 和 J. H. Stokes 等人于 1997 年对其中 45 个路段的调查显示,各路段全部表现出可以接受的路用性能。俄勒冈州截至 1990 年已经实施了 450mile(1mile=1 609. 344m)的就地冷再生工程。1988 年对俄勒冈州 52 个就地冷再生工程的路用性能评价显示,其中 47 个工程路用性能评价为优和良,占全部工程的 90%。

二、国内应用概况

我国在 20 世纪 50~70 年代,曾不同程度地发展过废旧沥青混合料筑路技术,沥青再生材料主要用于轻交通道路、人行道或道路垫层。

1982 年山西省结合油路的大中修工程铺筑沥青再生试验段 80 余公里。1983 年建设部下达了“废旧沥青混合料再生利用”的研究项目,由上海市市政工程研究所、武汉市市政工程设计研究院、天津市市政工程研究所等单位承担,当时的主攻方向是在旧渣油路面混合料中加入适当的轻油使之软化,用来代替常规沥青混合料,铺筑层次多为下面层,拌和设备方面则应用既有设备适当改装。该课题在苏州、武汉、天津、南京四个城市铺筑了 3 万多平方米的试验路,经观测证明再生路面的综合使用品质不低于常规热拌沥青混凝土路面。该项研究成果已经列入城市道路设计规范。甘肃省兰州公路总段自 1983 年以来采用阳离子乳化沥青作再生剂在夏兰路、兰包路、甘川路修筑了冷法再生沥青路面。云南省 1983~1988 年分别对昆洛路、昆畹路、贵昆路进行了再生沥青路面的试验研究。1985 年,原建设部曾组织上海、南京、天津、武汉等市政部门和苏州市公路局、哈尔滨建筑工程学院等单位进行过专题研究,于 1991 年 6 月发布了《热拌再生沥青混合料路面施工及验收规程》(CJJ 43—1991),指出再生沥青混合料所用的矿料、沥青的品质和混合料的技术要求,应符合废料的普通沥青混合料的有关规定。早期,湖南省也曾将乳化沥青加入到旧渣油表处面层混合料中,用拌和法和层铺法修筑了再生试验路,证明了该项技术的可行性和经济性。山东、河北、辽宁、广东、安徽等省也在 20 世纪 80 年代先

后进行过旧渣油路面再生利用的技术研究。

从 20 世纪 80 年代后期开始,伴随着我国高等级公路的大规模建设,新建公路路面几乎不再考虑使用废旧路面材料,沥青再生技术退居次要位置,相关研究推广基本处于停滞状态。

近几年,伴随着我国大量高等级公路进入大修、重建阶段,废旧路面材料的再生利用问题重新得到重视和广泛关注。一些科研院所和高校开始进行路面再生技术的研究和推广,一些公路部门开始尝试在高等级公路上使用沥青路面再生技术。例如,1998 年 10 月,邯郸市交通局引进了德国维特根公司 WR2500 再生机,首次利用现场再生技术对河北省境内的一段公路进行了改造。沪宁高速公路上海段大中修工程引进国外设备和技术,采用沥青路面现场热再生技术进行表面作业,于 2002 年年底在浦东的几条主要公路上得到了成功应用。2002 年养管部门对京津塘高速公路部分老化严重的沥青路面进行了就地热再生,广佛高速公路改造工程也采用厂拌热再生技术进行施工。2003 年河北省石安高速公路管理处也对部分老化严重的路段进行了就地热再生,以恢复路面的行驶性能,并将再生沥青混合料作为高速公路底面层。2004 年,辽宁省营大一级公路大修工程,在国内首次使用了乳化沥青就地冷再生,取得非常好的效果。

1. 厂拌热再生

2004 年,广东广佛高速公路大修工程成功应用了沥青路面厂拌热再生。他们采用双滚筒连续式厂拌热再生设备(图 1-11)拌制热再生混合料,用于大修路面结构中的下面层,其中较典型的路面结构形式为:6cm 再生沥青 AC-25I 下面层,5cm 改性沥青 AC-20 中面层,4cm 改性沥青 SMA-13 上面层(图 1-12)。此外,北京、上海等地也大量使用了厂拌热再生技术。国内不少设备生产厂商提供沥青拌和厂改造服务,使沥青拌和设备满足生产厂拌热再生混合料的需要。



图 1-11 广佛高速公路厂拌热再生拌和厂



图 1-12 广佛高速公路路面大修典型结构示意图

2. 就地热再生

京津塘高速公路(图 1-13)、八达岭高速公路、成渝高速公路、京福高速公路山东段、京石高速公路、沪蓉高速公路、石太高速公路、石黄高速公路、长平高速公路、长营高速公路等国内多个高速公路在路面养护工程中使用了就地热再生技术。截至 2009 年年底,国内就地热再生使用面积超过 700 万 m^2 。目前,国内已有进口的就地热再生设备 10 余套,国产化设备也已经成功开发并得到初步应用。