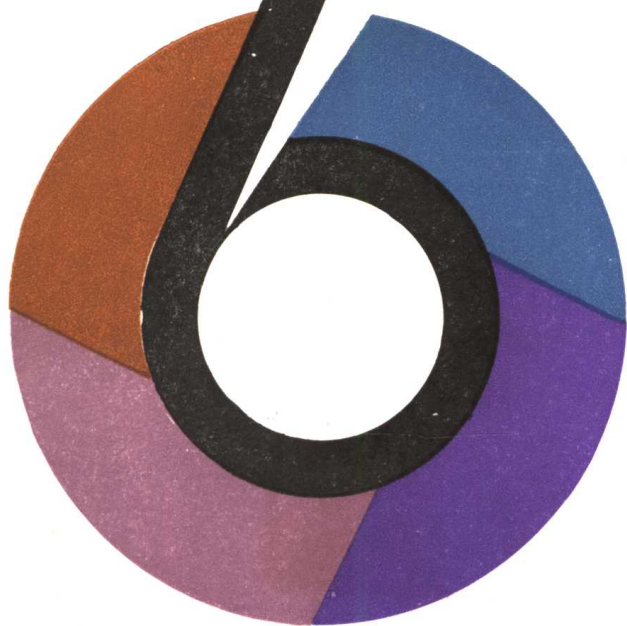


沥青路面 再生技术



LIQING LUMIAN
ZAISHENG JISHU

交通部沥青路面再生利用课题协调组

吕伟民 严家伋 编著

人民交通出版社

沥青路面再生技术

Liqing Lumian Zaisheng Jishu

交通部沥青路面再生利用课题协调组

吕伟民 严家俊编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了国内外近年来沥青(渣油)路面再生技术。本书介绍的我国旧有沥青(渣油)路面再生利用研究成果,1988年获国家教育委员会科技进步二等奖、获国家级科技进步三等奖。本书主要内容包括:旧沥青路面性状、沥青再生机理和再生方法、再生沥青混合料组成设计方法、再生沥青路面结构设计、再生沥青路面的热法与冷法施工工艺、再生沥青路面质量评价与经济效益分析方法等。

此外,为方便读者,本书还列有计算图表。

本书可供公路、城市道路、林业及厂矿道路工程技术人员和大专院校道路专业的师生使用参考。

沥青路面再生技术

交通部沥青路面再生利用课题协调组

吕伟民 严家伋 编著

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 8 字数: 171 千

1989年6月 第1版

1989年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3800册 定价: 4.50元

序 言

沥青路面再生技术是当代公路建设中的一项重大科学技术。这项技术的推广应用，可以节约大量的沥青和砂石材料，节省建设投资，具有显著的经济效益和社会效益，因而引起人们的关注。

1982年，交通部以（82）交计字790文下达了“旧有沥青（渣油）路面再生利用”的研究课题，并将它列入了交通部重点科技项目之一（编号65）。该课题由同济大学负责协调，山西省公路局、湖北省公路局科研所、西安公路研究所、河南省交通厅科研所、河北省交通科研所、山东省济宁市公路总段、江西省公路局科研所以及湖南省公路局等单位先后参加。经过几年的试验研究，在沥青（渣油）路面材料的再生机理、再生设计方法、再生剂质量指标、再生路面结构以及再生路面施工工艺与机械等方面取得了成果，并且在生产中逐步推广应用。该课题的研究成果，于1986年12月由交通部科技局组织了评审。专家们认为，该项目在旧沥青路面材料的再生机理研究上，具有国际水平；对于再生剂的选择、再生混合料设计方法、旧路面的破碎、混合料的拌和设备等关键技术的研究，处于国内领先地位。我们根据该项目多年的研究成果，同时参阅了国内外众多技术文献，编写出《沥青路面再生技术》一书，以供广大道路工作者参考使用。希望本书对我国公路的现代化建设有所裨益。

沥青路面再生技术是一项实用性很强的应用技术。因

此，本书除对再生技术的理论作必要的论述外，力求在再生设计、施工工艺、质量评价与经济效益分析等方面详尽地阐明诸多方法和经验。书中还列有一些计算图表，可供查用。

本书第三章第八节、第四章第五节以及附录一、二由严家极编写，其余各章节均由吕伟民编写。山西省公路局康绍仁、西安公路研究所扬增耀、湖北省公路局科研所李心平以及河南省交通厅科研所秦岭兰等，曾分别对书稿各有关章节作了审阅，并提出了宝贵意见，在此谨表谢忱。

限于笔者水平，书中错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编著者

1987.11.

目 录

第一章 绪论	1
第二章 旧沥青路面材料的性状	14
第一节 旧沥青路面材料的回收	14
第二节 回收旧沥青的性质	18
第三节 旧集料的筛析	24
第三章 沥青再生机理与再生方法	27
第一节 概述	27
第二节 沥青的粘流性质	28
第三节 沥青在老化过程中的流变行为	33
第四节 沥青再生方法	35
第五节 再生沥青的流变性质	38
第六节 沥青流变行为与路用性能的关系	41
第七节 再生剂的作用及其技术标准	45
第八节 沥青再生的相容性理论	53
第四章 再生沥青混合料组成设计	64
第一节 概述	64
第二节 再生沥青混合料类型	66
第三节 再生沥青混合料组成结构	67
第四节 再生沥青混合料配合比设计	70
第五节 冷法再生沥青混合料配合比设计	117
第六节 改性再生沥青混合料配合比设计	129
第七节 再生沥青混合料物理力学性能试验	134

第五章 再生沥青路面结构	141
第一节 旧路调查与处理.....	141
第二节 再生沥青路面结构.....	146
第三节 再生沥青路面的厚度设计.....	149
第四节 再生沥青路面弯拉应力验算.....	163
第六章 再生沥青路面施工	168
第一节 概述.....	168
第二节 再生沥青路面热法施工.....	169
第三节 再生沥青路面冷法施工.....	190
第四节 改性再生沥青路面施工.....	198
第五节 路拌再生基层的施工.....	201
第六节 沥青混凝土路面的表面再生.....	204
第七节 施工质量检查.....	208
第七章 再生沥青路面质量评价与经济效益分析	212
第一节 再生沥青路面质量评价.....	212
第二节 铺筑再生沥青路面经济效益分析.....	222
附录一 旧沥青路面材料抽提试验	231
附录二 沥青五组分分析方法	234
附录三 再生剂表面张力测定方法	238
附录四 再生沥青混合料最大密度真空抽吸测定法	242
附录五 沥青混合料线收缩系数测定方法	245
参考文献	248

第一章 绪 论

沥青路面再生利用技术，是将需要翻修或者废弃的旧沥青（渣油）路面，经过翻挖回收、破碎、筛分，再和新集料、新沥青材料适当配合，重新拌和，形成具有一定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工艺技术。

沥青路面的再生利用，能够节约大量的沥青和砂石材料，节省工程投资，同时有利于处治废料，节省能源，保护环境，因而具有显著的经济效益和社会、环境效益。近十年来，世界各国广泛进行沥青路面再生利用的试验研究，取得丰硕的成果，并且已在生产中大面积推广应用。现在，沥青路面再生利用技术，已成为当代公路建设中的重大科学技术之一。

一、国内外沥青路面再生利用技术研究的现状

1. 国外沥青路面再生利用的概况

沥青路面再生利用的试验研究，最早是1915年首先在美国开始的。但以后由于大规模的新路建设，对这项技术没有引起足够的重视，再生沥青路面铺筑的里程进展甚慢。1973年石油危机的爆发，使负责交通运输设施的管理部门面临着许多问题和困难：通货膨胀、税收减少，能用于交通运输设施建设的资金减少；燃油供应困难；筑路用的砂石材料供应不足，而且由于严格的环保法制，又使砂石材料的生产受到限

制，砂石材料的价格上涨；等等。旧沥青路面材料再生利用，作为解决上述问题和困难的一个重要对策措施，才又重新引起人们的重视。1974年美国重新开始研究这项技术，并且迅速在全国推广应用。据美国联邦公路管理局的统计，1980年25个州共使用了200万吨的热拌再生沥青混凝土；1981年40个州使用的数量就达到350万吨。到1985年再生沥青混合料的用量就猛增到近2亿吨，差不多为全部路用沥青混合料的一半。

由于沥青路面再生利用大有可为，为此，研究工作得到美国联邦公路局的大力资助。与此同时，美国交通运输研究委员会、美国材料与试验协会、美国沥青路面工艺师协会，经常主持召开有关沥青路面再生利用的各种学术会议，又有力地推动了该项研究工作的进展和交流。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》；同年，美国沥青协会出版了《沥青路面热拌再生技术手册》；1983年又出版了《沥青路面冷拌再生技术手册》。这表明美国的沥青路面再生技术已经达到相当成熟的地步。

日本从1976年开始进行沥青路面再生技术的研究。1980年厂拌再生的热拌混合料累计已达50万吨。日本高速公路多数经历的时间不长，需要翻修的数量不多，1980年路面废料总产生量约为260万吨，与同年全国沥青混合料总需要量7000多万吨相比，仅占3.5%。尽管如此，路面废料再生利用的数量已超过50%。1984年7月，日本道路协会出版了《路面废料再生利用技术指南》，并且就有关厂拌再生技术编成了手册。

欧洲一些国家对再生技术的研究开展相对较晚。70年代中期，联邦德国、荷兰、芬兰等国家相继进行小规模试验，

并迅速推广应用。相比之下，联邦德国再生技术研究的发展速度较快，居欧洲之首位。联邦德国首先将厂拌再生应用于高速公路路面养护，到1978年已经将全部废弃沥青路面材料加以再生利用。在芬兰，现在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轻型交通的路面和基层，近年来，在重交通道路上也已开始应用。法国公路局现在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。

苏联早就对沥青路面再生技术进行了研究，而且在1966年就出版了《沥青混凝土废料再生利用技术的建议》一书，但实际应用甚少。1979年又出版了《旧沥青混凝土再生混合料技术准则》，提出了适于各种条件下再生利用的方法，其中规定再生沥青混合料只可以用于高级路面的基层和低级路面的面层。1984年苏联又出版了《再生路用沥青混凝土》一书，该书详细地阐述了路拌再生和厂拌再生的方法。近年来，苏联再生利用技术发展较快，并在生产中广为应用，仅列宁格勒市因推广沥青路面再生技术每年就可节约沥青材料达1400t之多。

综观欧美国家沥青路面再生利用技术研究发展的状况，可以看出欧美国家特别重视再生实用技术的研究，他们在再生沥青混合料的拌制工艺，以及与之配套的各种挖掘、铣刨、破碎、拌和等机具的研制方面，都取得了很大的成就，已经形成了一套比较完整的再生实用技术，并且达到了规范化和标准化的成熟程度。欧美国家虽然对沥青再生机理的理论研究不多，但对诸如再生剂的再生效果、再生沥青混合料物理力学性能的评价方法等，也进行了卓有成效的研究，为沥青路面再生技术付之于实用提供了科学依据。

2. 我国沥青路面再生利用技术研究的进展

我国自60年代推广铺筑渣油路面以来，黑色路面里程逐年增加，迄今全国已将近20万公里。其中大部分是渣油路面，70年代以后，陆续修建了各种结构型式的沥青路面。进入80年代以来，随着沥青生产数量的增加，渣油相对减少，沥青路面的比重逐年增加。

随着我国国民经济的发展，交通量迅速增长，重型车辆日益增多，不少路段的沥青（渣油）路面实际都已处于超负荷工作状态。为此，黑色路面的病害日趋严重，道路的改建和大修任务日益繁重。然而，尽管在我国许多油田得到开发，石油工业有了很大的发展，但生产的沥青仍然供不应求，沥青的供应量尚不足需求量的一半；我国经济虽有了很大的发展，但实力仍不雄厚，公路建设投资有限，不能满足公路交通运输事业迅速发展的需要。面对这种现实情况，积极开展沥青（渣油）路面再生利用技术的研究，确实有其必要性和重要性。

早在70年代初期，一些基层养路部门就已自发地开始进行废旧渣油路面材料再生利用的尝试。如山西省长子县公路养护段，在1972年就曾利用旧渣油路面材料，经过重新拌和后铺筑了两段试验路面。1975年山西省雁北地区的怀仁县公路养护段在旧渣油路面材料中加入新油、新集料，复拌后铺筑路面100余米。1980年山西省公路部门将旧沥青（渣油）路面材料再生利用作为重点科学技术项目，开展研究工作。当年，在晋东南、吕梁等八个地区、市公路总段，共铺筑再生试验路面达8.7km。1981年，该课题被山西省科委列为重点项目之一。同年，全省结合油路大中修及道路改建工程，共铺筑扩大试验路面达64km。之后，山西省大面积推广再

生技术，1984年山西省再生沥青路面已达103km；至1986年，全省累计里程已超过200km。

1981年，湖北省交通厅给公路局下达了该课题的研究任务。公路局以科研所为中心，发动全省九个地区的公路总段和十个县段，根据不同自然条件、不同路面结构类型和不同交通量，铺筑了试验路面。1984年湖北省各地结合大修工程，共铺再生路面计43km；1986年湖北全省再生路面累计里程达100km之多。

与此同时，河南、河北、山东等省也相继开展了广泛的试验研究。

1982年，交通部科技局正式将沥青（渣油）路面再生利用作为重点科技项目下达，由同济大学负责该课题研究的协调工作。研究工作采取由科研单位、高等院校与生产部门相互协作的方式，分别确定主攻方向，开展比较系统的试验研究，使研究的深度和广度有了新的进展。

同济大学在同山西省公路局、河南省交通厅科研所以及江西省上饶公路分局等单位协作，对旧沥青路面的再生机理和再生设计方法进行了研究。研究工作从化学热力学和沥青流变学的原理出发，研究沥青作为高分子浓溶液其溶质与溶剂之间的相容性，以及沥青在老化过程中其流变行为的变化规律。还研究了再生剂的作用和再生剂的质量技术指标。此外，还在室内就再生沥青混合料的物理力学性能进行了系统的评价性试验。通过理论研究，对沥青再生的本质有了深刻的认识，探明了沥青再生的科学途径，并在此基础上建立起沥青路面的再生设计方法。

山西省针对旧路面挖掘、破碎、筛分，再生混合料的拌和、摊铺、压实的施工工艺实用技术进行了深入的研究，形

成了一套比较完整的再生工艺流程，并对其中旧料破碎、筛分、混合料拌和的关键环节，集中力量研制了双级破碎筛分机，自制加工成滚筒式拌和机。在建立起初具规模的再生混合料拌和厂的同时，又引进了有电脑控制的每小时生产率达60t的再生混合料大型拌和设备，为大面积推广再生沥青路面创造了条件。

为提高再生沥青路面的使用品质，使之能适应较大交通量的要求，河北省交通科学研究所与同济大学合作，河南省开封市公路总段与湖南大学合作，进行了改性再生技术的研究。他们利用硫磺、橡胶胶乳、聚丙烯等材料改善沥青材料的物理力学性能，拌制出改性再生沥青混合料，提高了再生路面的路用效果。

乳化沥青冷拌再生混合料施工工艺的研究，是河南和江西等省再生研究的特色。该工艺具有节约能源、改善工人劳动条件、延长施工季节等优点。

湖北省公路局科研所、西安公路研究所等单位，比较系统地研究了旧渣油路面再生的特点，分析了旧渣油路面材料中的旧渣油稠化和旧集料细化的规律性。他们认为旧渣油路面材料较旧沥青路面材料易于再生。并且指出，用旧渣油路面材料所铺筑的再生路面，较原来的渣油路面性能要好得多。

为了促进沥青路面再生技术的推广，许多生产单位特别重视再生机械的研究。湖北省襄樊市公路管理总段机修厂研制成功的路面铣刨机，是我国再生机械研制的一项成果。有些单位将现有机械加以改装，用于旧路再生。如山东省济宁市公路总段，将原有的锤式碎石破碎机进行改装，用于破碎旧路面材料，取得良好效果。

几年来,同济大学、山西省公路局、湖北省公路局研究所、西安公路研究所、河南省交通厅研究所、河北省交通科研院所、山东省济宁市公路总段、江西省公路局以及湖南省公路局等单位,已经在再生机理的理论、再生设计方法、再生剂的质量技术指标、热法和冷法的施工工艺、再生机械等诸多方面的研究,取得了系统的成果,将我国沥青(渣油)路面再生利用技术研究提高到了新的水平。

二、旧沥青路面再生利用的可能性

沥青路面再生利用,在国内外都已是日臻完善的一项技术。就我国不完全统计,至1986年所铺筑的再生路面已累计达600余公里。然而,为何旧沥青(渣油)路面材料能够再生,再生路面的使用品质到底如何,至今仍有许多人对此有所疑虑,他们在观望,不敢贸然采用这项技术。因此,在这里有必要从理论上和技术上简要阐明旧路面材料可以再生利用的科学道理。

沥青路面在使用过程中,经受着行车和各种自然因素的作用,逐渐脆硬老化,其实质是路面材料中的沥青结合料发生了老化。对旧沥青化学分析的结果表明:其油分减少,沥青质增加;路用技术指标表现为针入度减小,软化点上升,延度降低。由于沥青材料并不是单体,而是由油分、胶质、沥青质等组成的混和物。正因为沥青是混和物,所以可以用简单的方法掺加某种组分,或者将它和新沥青材料重新混和,调配成新的沥青混和物,这种新的沥青混和物又重新表现出新的技术性质。在石油工业中,就有将硬沥青与软沥青按一定比例配合而成调和沥青的工艺方法。旧沥青(旧渣油)再生,就是根据生产调和沥青的原理来获得再生沥青

的。因此,旧沥青路面材料再生,在理论上是有科学依据的。

在实际施工中,是不可能象在试验室那样,都将旧沥青从混合料中抽提出来,加入再生剂和新沥青,调合成再生沥青,再用于拌制沥青混合料。那么,实际施工又是怎样保证旧沥青得以再生的呢?

首先,对于老化严重的路面材料,可在其破碎后,先加入低粘度的油料作再生剂。再生剂渗入旧料中,和旧沥青交融,使旧沥青的粘度降低而软化。尔后在热拌过程中,混合料被加热到 $120\sim 160^{\circ}\text{C}$,这时旧沥青处于熔融状态,在热力和机械作用下,它很容易与新沥青材料发生交融混和。毫无疑问,施工工艺水平愈高,这种交融混和的效果就愈好。随着再生技术的发展,许多性能完善的现代化再生机械设备相继出现,所生产的再生沥青混合料完全可以和新拌制的混合料媲美。因此,从工艺上来说,旧沥青路面材料再生也是完全可能的。

再生沥青路面在欧美许多国家已广为应用,而且他们研究认为,由于旧沥青已经受过氧化作用,性能趋于稳定,再生利用后不会迅速变质,再生路面不易硬化而出现裂缝,能够保持持久的柔韧性,使用寿命长,路用性能优于全新沥青路面。

我国铺筑的再生路面,时间早的已有 $6\sim 7$ 年,时间晚的也有 $2\sim 3$ 年,大多路况良好。如山西省吕梁地区义居所铺的 1 km 再生路面,系表处型结构,迄今已有 5 年,路况仍然良好。又如山东曲阜铺筑的再生沥青路面,平整坚实,几乎和全新沥青路面相混同。在江西上饶地区铺筑的再生试验路面,较一般生产路段的路况要好得多。

实践证明,再生路面与同类型的全新沥青路面相比较,

无论从外观上，还是从实际使用效果上都没有明显差别。用旧渣油路面材料铺筑的再生路面，要比新渣油路面热稳性好得多，夏季无泛油、推移、波浪等现象，路面平整坚实。再生路面在防水、防滑性能上也都能满足要求。从再生路面实际使用效果来预估其使用寿命，可以说，再生路面具有维持正常使用的持久能力。因此，根据再生路面的实际使用效果，也同样说明旧沥青（渣油）路面材料再生利用，不但是可能的，而且是行之有效的。

三、沥青路面再生利用的经济效益

旧沥青路面再生利用，可以节约沥青和砂石材料，降低建设投资，具有直接的经济效益；同时，又因为道路状况的改善，减少轮胎的磨损和汽油的消耗，提高道路的运输通行能力；还因为合理的治理三废，减少路面旧料的废弃以减轻环境污染；还由于减少对砂石材料的需求量，从而减少开山放炮破坏自然景观，因而有利于环境保护，具有间接的社会效益和环境效益。

据美国联邦公路管理局的调查，旧沥青路面再生利用，可节约材料费53.4%，路面造价降低25%左右，沥青节约50%。据统计，1980年美国使用了约5 000万吨旧路面材料，节约投资达3.95亿美元。

我国现有的近20万公里沥青路面，绝大部分属表处型路面结构，且由于所用沥青材料系由石蜡基原油炼制的，含蜡量高，路用性能差，故使用寿命较短，大量的沥青（渣油）路面需要翻修或重建。

山西省公路局在前两年就本省的情况作过估计：每年旧沥青路面大修约有200km；由于交通量增长，需要将三级路

扩建改造的约有160km；路面维修翻挖以及处理翻浆路段，约占油路总面积2%，合计每年共翻挖油路达267万平方米，折合成体积为6.7万立方米，计15.4万吨。

湖北省估计全省每年道路改建和大修约520余公里，可回收旧沥青路面材料达20万吨之多。

据粗略估计，全国公路部门每年可回收旧沥青路面材料达340万吨。

我国现有城市道路8800km，其中80%为沥青路面。据城市有关部门统计，每年全国城市道路翻修后，若仅回收其中三分之一的旧路面材料，其数量就可达93万吨。

由此可见，全国每年都有数百万吨的旧沥青路面废料产生，可以回收利用的资源十分丰富。

根据山西、湖北、山东、陕西等省的统计，铺筑3cm厚的表处型再生路面，平均每1000m²可节约沥青材料1.81t，平均相对节约49.6%，平均相对节约沥青费用52.3%。铺筑再生路面节约的砂石材料，基本上等于旧料的掺配率。换言之，使用了多少吨旧路面材料，就等于直接节约了多少吨的砂石材料。目前我国公路部门多数单位旧料掺配率（也有称旧料利用率）都在40~70%范围内，若按50%计算，依照定额测算，每铺筑1000m²厚3cm的再生沥青路面，即可少用新砂石材料20.6m³。铺筑三级以下公路，路面宽按6m计，则每公里可节约砂石材料123.6m³。减少砂石材料节约的费用，视地区不同而有较大的差异。在缺乏砂石材料的平原地区，由此而节约的费用相当可观；在盛产砂石材料的山区，则所节约的费用要少得多。根据上述若干省的资料，由于铺筑再生路面而节约的材料费（包括沥青和砂石材料）平均为47.5%。