

廖克俭 丛玉凤 编著

道路沥青生产与 应用技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

道路沥青生产与应用技术

廖克俭 丛玉凤 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

道路沥青生产与应用技术/廖克俭, 丛玉凤编著.
北京: 化学工业出版社, 2004
ISBN 7-5025-5869-1

I. 道… II. ①廖…②丛… III. 道路工程-沥青
IV. U414.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 077335 号

道路沥青生产与应用技术

廖克俭 丛玉凤 编著

责任编辑: 窦 臻

文字编辑: 麻雪丽

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11¼ 字数 297 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5869-1/TB·55

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

沥青可以说是最古老的石油产品，人类在认识石油之前便开始使用沥青了。早在 5000 年前人们发现了天然沥青（主要是湖沥青与岩沥青），并且利用其良好的黏结能力、防水特性、防腐性能等特征，以不同的形式用做铺筑石块路的黏结剂，为宫殿等建筑物做防水处理，作为船体填缝料等。21 世纪的今天，沥青作为工程材料在国民经济各部门有广泛的用途，在许多领域仍然是不可替代的产品，而且应用领域还在不断拓宽。

目前，石油沥青已被广泛用于国民经济各个领域，特别是随着公路交通事业的发展，使用高等级道路沥青铺筑的路面越来越多。沥青的生产和使用，已成为一个国家公路建设、房屋建筑等发展水平的主要标志。20 世纪 50 年代以前，我国的公路主要是砂石路面。在 60 年代，随着大庆油田的开发，道路渣油这种沥青材料登上了历史舞台。70 年代随着胜利油田 923 原油和孤岛原油的开发，胜利炼油厂开始生产符合一定规格要求的道路沥青。80 年代中期，我国开始进入高等级公路建设的新时期，同时制定了“重交通道路石油沥青的技术要求”，并开始进口国外高质量的道路沥青，石化部门也开始攻关，研制出符合要求的重交通道路沥青。进入 90 年代后，随着我国经济建设的飞速发展，我国公路建设投资、高速公路建设速度非常快，但还远远满足不了国民经济发展需要，交通部根据中央制定的国民经济和社会发展战略部署，制定了国道主干线发展规划。预计到 2020 年，我国公路将基本适应国民经济发展和人民生活的需要。

由于我国交通事业的不断发展，公路沥青路面的建设规模逐渐扩大，特别是高等级公路建设里程的不断增加，对高质量的道路沥

青的需求量呈上升趋势。就目前国内沥青生产的现状来说,沥青的性能主要取决于其原油的性质。我国目前大多数原油属于石蜡基原油,生产的沥青由于含蜡高,耐久性差,难以在高等级公路上使用。另外,由于国民经济的高速发展带来交通量迅速增加,车辆大型化,车辆重载以及我国南北、冬夏温差大等因素,对沥青路面的质量提出了更高的要求,使用一般的交通路面沥青难以达到要求,因此,人们又研究生产了改性沥青,以提高沥青路面的使用性能,以延长使用寿命。

随着对沥青研究的逐渐深入,我国高速公路沥青路面的质量和使用寿命得到了极大的提高,已接近国际水平。为了帮助道路沥青的研究、生产,施工人员进一步了解道路沥青的研究成果和发展现状,作者结合多年的科研与实践经验编写了这本书,供道路沥青生产、施工及研发人员参考使用。

本书以实验研究为基础,综合国内外的信息,着重介绍了道路沥青的研究进展、道路沥青标准和分析测定方法、道路沥青的生产技术、改性沥青的研究和生产、道路沥青在道路工程中的应用以及废旧沥青混合料的再生应用,其中对道路沥青和改性沥青的生产、道路沥青混合料的施工技术、废旧道路沥青的回收利用进行了较详细的叙述,尤其对废旧沥青混合料的再生利用技术的研究,为国内废旧沥青回收再利用开辟出一条新的途径,既解决了废旧沥青对环境的污染,又节省了不可再生的沥青资源。

本书在编写过程中得到了辽宁石油化工大学应用化学系魏毅、闫锋老师以及王永刚研究生的帮助,在此深表感谢。

由于时间、水平有限,本书在编写过程中难免出现错误,望广大读者不吝指正。如果本书能给读者带来帮助,我们倍感荣幸。

作 者

2004年5月

目 录

1 概述	1
1.1 沥青的基本概念及其分类	1
1.1.1 沥青及石油沥青的基本概念	1
1.1.2 沥青的分类	2
1.1.3 石油沥青的基本概念及有关名词术语	5
1.2 石油沥青的化学组成及其基本理论	9
1.2.1 石油沥青的化学组成	10
1.2.2 石油沥青的胶体结构理论	13
1.2.3 石油沥青的高分子溶液理论	17
1.3 国内外石油沥青的生产进展	21
1.3.1 国外石油沥青生产的进展	21
1.3.2 我国石油沥青生产技术进展	23
1.3.3 我国石油沥青生产同国外的差距及开发建议	25
1.4 我国自主开发的石油沥青生产技术概述	28
1.4.1 石油沥青的基本生产技术	28
1.4.2 我国自主开发的石油沥青生产技术	30
1.5 我国道路交通建设的发展状况及沥青市场需求分析	32
1.5.1 我国道路交通建设的发展状况	32
1.5.2 我国公路及市政建设对沥青数量和质量需求分析	35
1.5.3 我国道路沥青路面存在的问题及原因	36
参考文献	37
2 道路沥青的产品标准和分析测定方法	39
2.1 道路沥青产品标准的分级	39
2.1.1 道路沥青的针入度分级	39
2.1.2 道路沥青的黏度分级	40
2.1.3 道路沥青的性能分级	42

2.2 我国石油沥青产品质量现状	43
2.2.1 各国的道路沥青产品标准	43
2.2.2 我国石油沥青产品质量现状	45
2.2.3 我国道路沥青标准的发展趋势和石油沥青行业面临的 问题	47
2.3 道路沥青产品与实验方法的新标准	48
2.3.1 道路沥青新的产品标准	48
2.3.2 道路沥青新实验方法标准	51
2.4 道路沥青的重要性能指标及其实验方法	54
2.4.1 道路沥青的三大指标	54
2.4.2 道路沥青的其他重要指标	59
2.5 道路沥青的分析测定方法	62
2.5.1 四组分法	63
2.5.2 多组分法	71
2.5.3 密度法	71
2.5.4 红外吸收光谱法	76
2.5.5 X 射线分析	82
2.5.6 质谱法测定沥青油分中的结构族组成	85
2.5.7 核磁共振(NMR)	87
参考文献	94
3 高等级道路沥青的生产技术	96
3.1 概述	96
3.1.1 原油的选择	96
3.1.2 中国主要原油的基本性质	97
3.1.3 主要进口原油的性质	101
3.2 蒸馏法生产直馏沥青	104
3.2.1 常压蒸馏的基本原理	104
3.2.2 减压蒸馏的基本原理	105
3.2.3 常、减压蒸馏的工艺	106
3.3 氧化法生产氧化沥青	108
3.3.1 沥青在吹风氧化过程中的化学变化	109
3.3.2 空气吹制沥青过程的热效应	111
3.3.3 沥青吹风氧化过程的反应速度	114

3.3.4	氧化沥青的生产工艺	115
3.4	溶剂脱沥青法生产工艺	117
3.4.1	溶剂脱沥青法的原理	118
3.4.2	溶剂脱沥青工艺	118
3.4.3	溶剂脱沥青的新工艺	121
3.5	调和法生产沥青的技术	125
3.5.1	调和组分的选择和配伍	125
3.5.2	调和法生产沥青的流程和设备	126
	参考文献	127
4	道路沥青的路用性能	128
4.1	概述	128
4.1.1	道路沥青的感温性	129
4.1.2	评价道路沥青感温性指标	130
4.1.3	改善道路沥青感温性的措施	136
4.2	道路沥青的高温性能	136
4.2.1	沥青的软化点和当量软化点	137
4.2.2	道路沥青的黏度	140
4.2.3	道路沥青的动态剪切实验	142
4.3	道路沥青的低温性能	143
4.3.1	道路沥青的延度	145
4.3.2	道路沥青的脆点和当量脆点	146
4.3.3	道路沥青的低温黏度和针入度	148
4.3.4	评价道路沥青低温性能的其他指标	149
4.4	道路沥青的老化性能	152
4.4.1	沥青老化机理	152
4.4.2	沥青老化性能评价方法	154
4.4.3	沥青的薄膜烘箱实验和旋转式薄膜烘箱实验	154
4.5	道路沥青的老化动力学	155
4.5.1	以软化点为参数建立老化动力学模型	156
4.5.2	以正戊烷沥青质为参数建立老化动力学模型	156
4.6	蜡含量对道路沥青路用性能的影响	157
4.6.1	国产沥青的含蜡量问题	157
4.6.2	蜡对沥青性能的影响	159

4.6.3	蜡含量指标	160
4.6.4	蜡含量测定方法	161
4.7	道路沥青的其他性能	162
4.7.1	沥青的密度和相对密度	162
4.7.2	沥青的溶解度	164
4.7.3	沥青的闪点	164
4.7.4	沥青的热性质	165
4.7.5	沥青的减振性	165
	参考文献	166
5	改性道路沥青	168
5.1	概述	168
5.1.1	改性沥青的分类	168
5.1.2	沥青改性剂的分类	169
5.1.3	聚合物改性剂的分类	170
5.1.4	改性剂的选择原则	172
5.1.5	几种主要聚合物改性剂的特点及其改性作用	173
5.2	SBS 改性沥青	175
5.2.1	SBS 改性剂的结构特点	175
5.2.2	SBS 改性剂的改性机理	176
5.2.3	SBS 改性剂与其他聚合物改性剂对沥青改性效果比较	179
5.3	基质沥青对 SBS 改性沥青性能影响的依赖关系	181
5.4	SBS 改性沥青的路用性能	183
5.5	改性沥青储存稳定性的研究	186
5.5.1	改性沥青储存稳定性的评价方法	186
5.5.2	稳定剂的选择	187
5.5.3	稳定剂的作用机理	192
5.5.4	稳定剂对改性沥青热储存稳定性的影响	193
5.5.5	稳定剂对基质沥青的适应性	194
5.5.6	改性沥青工艺参数的研究	195
5.6	SBS 改性沥青的制备工艺	198
5.6.1	改性沥青的几种制作方法	198
5.6.2	改性沥青的生产设备及工艺	202
5.7	相容性理论及溶解度参数模型在 SBS 改性沥青中的应用	206

5.7.1	石油沥青的化学组成	206
5.7.2	石油沥青的几种结构理论	207
5.7.3	改性沥青相容性与基质沥青组成的关系	208
5.7.4	改性沥青相容性与溶解度参数的关系	209
5.8	灰色系统理论在 SBS 改性沥青中的应用	214
5.8.1	灰色系统概述	214
5.8.2	灰色系统理论在 SBS 改性沥青中的应用	216
5.9	SBR 改性沥青	222
5.9.1	SBR 改性剂的规格	222
5.9.2	SBR 改性剂掺加量对沥青性能的影响	223
5.9.3	SBR 改性沥青的路用性能	225
5.9.4	丁苯橡胶 (SBR) 混合料技术性能	226
5.9.5	SBR 改性沥青的制备方法	229
5.10	废橡胶粉改性沥青	230
5.10.1	国内外现状、发展趋势	230
5.10.2	胶粉改性沥青的生产方法	231
5.10.3	技术指标	231
5.10.4	生产橡胶粉的经济效益和社会效益	232
	参考文献	233
6	道路沥青在道路工程中的应用技术	235
6.1	沥青混合料的基本情况	235
6.1.1	沥青混合料和沥青路面的分类	235
6.1.2	沥青混合料的组成结构	237
6.1.3	沥青混合料的技术要求	239
6.1.4	沥青混合料的路用性能的控制指标	243
6.2	沥青混合料配合比设计	244
6.2.1	选择符合要求的组成材料	244
6.2.2	沥青混合料配合比设计方法	246
6.2.3	沥青混合料目标配合比设计实例	249
6.2.4	设计中出现的问题及建议	254
6.2.5	沥青混合料试配调整的一般原则	257
6.3	沥青混合料高温稳定性	257
6.3.1	影响沥青混合料高温稳定性的因素	258

6.3.2	改善沥青混合料高温稳定性的方法	259
6.3.3	沥青混合料高温稳定性的评价方法	260
6.4	沥青混合料的低温抗裂性能	263
6.4.1	沥青路面的开裂	264
6.4.2	沥青混合料低温抗裂性能的评价指标	265
6.4.3	低温弯曲蠕变实验	266
6.5	沥青混合料的水稳定性	267
6.5.1	沥青混合料水稳定性的评价方法	268
6.5.2	实验方法	270
6.5.3	沥青路面水损害机理及防治对策	271
6.6	沥青混合料的抗滑性能	274
6.6.1	沥青路面的抗滑特性	274
6.6.2	评价路面的抗滑能力的指标以及检测	275
6.6.3	抗滑标准	276
6.7	沥青混合料的施工工艺	276
6.7.1	施工准备阶段	276
6.7.2	沥青混合料的拌和	278
6.7.3	沥青混合料的运输	279
6.7.4	沥青混合料的摊铺	280
6.7.5	沥青混合料的压实成型	283
6.8	沥青混合料路面常见病害及处理	285
6.8.1	平整度差	286
6.8.2	路拱不正、路面波浪	286
6.8.3	路面烂边	287
6.8.4	路面松散、掉渣	287
6.8.5	路面接茬不平、松散、有轮迹	288
6.8.6	拥包、搓板	288
6.8.7	泛油	289
6.8.8	裂缝路面	289
	参考文献	290
7	石油沥青的储运与环保	291
7.1	石油沥青的毒性	291
7.1.1	石油沥青与癌症	291

7.1.2	石油沥青的安全使用	292
7.1.3	操作人员的安全保健	292
7.2	石油沥青的储存与运输	292
7.2.1	石油沥青的罐储	292
7.2.2	石油沥青的成型和包装	293
7.2.3	石油沥青的运输	294
7.3	石油沥青与环境保护	297
7.3.1	石油沥青生产过程中的污染	297
7.3.2	主要治理措施	297
	参考文献	298
8	废旧沥青混合料的再生应用	300
8.1	概述	301
8.1.1	废旧沥青混合料再生技术的发展概况	301
8.1.2	废旧沥青混合料再生的技术可行性与经济可行性分析	304
8.1.3	发展废旧沥青混合料再生技术的重要意义	306
8.1.4	废旧沥青混合料再生的技术难点	307
8.2	道路沥青的老化以及再生机理分析	308
8.2.1	新鲜沥青的老化机理	308
8.2.2	废旧沥青的再生机理	309
8.3	废旧沥青再生剂的开发	310
8.3.1	原料及其处理过程	311
8.3.2	废旧沥青再生剂的开发	312
8.4	废旧沥青的再生及混合料实验	317
8.4.1	废旧沥青的再生	317
8.4.2	再生沥青的混合料实验	320
8.5	符合我国国情的废旧沥青混合料再生工艺	322
8.5.1	国外废旧沥青混合料的再生方式简介	322
8.5.2	废旧沥青混合料的再生设备	324
8.5.3	选择适合我国国情的废旧沥青混合料再生方式	327
8.5.4	再生沥青混合料设计	328
8.5.5	采用工厂热法的再生工艺图	330
	参考文献	331
附录 1	国内外有关沥青的机构名称	333

附录 2	常用高分子聚合物英文及英文缩略语	336
附录 3	国内一些沥青生产及销售企业简介	338
附录 4	国外主要沥青生产企业简介	340

1 概 述

沥青可以说是最古老的石油产品，人类在认识石油之前便开始使用沥青。早在 5000 多年前人们发现了天然沥青（主要是湖沥青与岩沥青），并且利用其良好的粘结能力、防水特性、防腐性能等特征，以不同的形式用做铺筑石块路的黏结剂，为宫殿等建筑物做防水处理，制作木乃伊的防腐剂，作为船体填缝料等。21 世纪的今天，沥青作为工程材料在国民经济各部门有广泛的用途，在许多领域仍然是不可替代的产品，而且应用领域还在不断拓宽。沥青的使用寿命远没有终结，沥青是既古老又年轻、充满生命力的可持续利用和发展的石油产品。

石油沥青经过 100 多年的生产和发展，现在全世界拥有沥青生产能力 $1.18 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，可以生产道路铺装、防水防潮、油漆涂料、绝缘材料等数十个品种和上百个牌号的沥青产品。工业发达国家不仅大量生产和使用沥青，而且仍然高度重视沥青生产技术的发展、产品质量的改进和新品种的开发，以及在各工业部门的应用。我国是发展中的第一大国，公路建设和建筑业的持续发展对石油沥青的需求愈发强劲，市场容量很大。世纪交替，展望新世纪，石油沥青产品仍将持续发展。

1.1 沥青的基本概念及其分类

1.1.1 沥青及石油沥青的基本概念

尽管早在 20 世纪初，人们就企图将沥青做一个统一的定义，但是，迄今为止还没有定论。在国外关于沥青的名词有：bitumen, asphalt, asphaltic bitumen 等。在国内一般将 bitumen, asphalt,

asphaltic bitumen 均译为沥青，而在使用上，bitumen 常常指天然沥青，asphalt 常常指石油炼制所得的沥青。这里需要说明的是：在文献与著作中，美国习惯把来自石油加工所得渣油或由渣油氧化所得产物叫做“asphalt”，而欧洲则习惯地称之为“bitumen”。

沥青主要是指由高分子的烃类和非烃类组成的黑色到暗褐色的固态或半固态黏稠状物质，它全部以固态或半固态存在于自然界或由石油炼制过程制得。而石油沥青专指在原油加工过程中制得的一种沥青产品，主要含有可溶于三氯乙烯的烃类和非烃类衍生物，其性质和组成随原油来源和生产方法的不同而变化，在石油产品中属非能源产品。按胶体理论，石油沥青主要由油分、胶质、沥青质三种物质组成，如表 1-1 所示，油分作为分散介质，使胶质和沥青质分散于其中所形成的稳定胶体结构。

表 1-1 石油沥青的组成

名 称		直馏石油沥青	氧化石油沥青
组成 m%	油分	30~50	5~15
	胶质	35~50	40~60
	沥青质	15~30	30~40

1.1.2 沥青的分类

对沥青可按下列体系进行分类。

1.1.2.1 按来源进行分类

沥青按其来源可分为：石油沥青、天然沥青以及煤焦油沥青等（由于本书重点讨论石油沥青，而目前各种文献资料对天然沥青以及煤焦油沥青涉及较少，固此处特意向读者介绍一下这两种沥青）。

天然沥青（natural asphalt） 石油的轻质部分在太阳、地热等自然环境的影响下，经蒸发形成天然沥青。天然沥青产量很少，其存在形式有为湖沥青、岩石沥青、沙石沥青和沥青岩等。世界天然沥青的地质资源在 $3 \times 10^{11} \text{ t}$ 以上，其开采方式通常采用的是露天式、钻井式、矿井式，天然沥青的利用途径大致包括用做综合燃料、筑路、燃料-能源工业和化工业、从中提炼稀有金属等。

煤焦油沥青 (coal tar asphalt) 指煤焦油初馏时留下的残渣, 是煤焦油加工过程中分离出的大宗产品。它由 5000 多种三环以上多环芳香族化合物和少量与炭黑相似的高分子物质构成的多相体系和高碳材料。一般含碳 92%~94%, 含氢仅 4%~5% 左右, 所以它是制取各种碳素材料不可替代的原料。煤沥青没有固定的熔点, 只有从固态转化为液态的温度范围, 通常用软化点代表。根据软化点的高低, 煤焦油沥青分为低温沥青 (软沥青)、中温沥青 (普通沥青)、高温沥青 (硬沥青)。

天然沥青以及煤焦油沥青的分类与形成条件见表 1-2。

表 1-2 天然沥青以及煤焦油沥青的分类与形成条件

沥 青	分 类	形 成 条 件
天然沥青	湖沥青	地下的沥青溢到地表面形成湖盘形状, 形成湖沥青
	岩石沥青	沥青流入在多空状石灰岩和石岩中形成岩石沥青, 其砸成小碎片后, 可作为集料来使用
	砂石沥青	沥青流入砂层形成砂石沥青
	沥青岩	原油流入岩石缝后, 经漫长岁月形成的沥青。沥青岩几乎接近于纯沥青
煤焦油沥青	低温沥青	把焦油初馏时的加热温度降低至 390℃ 直接生产或者用中温沥青回配蒽油产生
	中温沥青	煤焦油初馏在正常条件下的产物
	高温沥青	中温沥青蒸馏、氧化热处理或加压热处理后的产物

1.1.2.2 按生产加工方法进行分类

沥青按其生产加工方法可分为: 直馏沥青、溶剂脱油沥青、氧化沥青、调和沥青、乳化沥青、改性沥青等。

直馏沥青是指由原油用常减压蒸馏方法直接得到的产品, 在常温下是黏稠液体或半固体; 溶剂脱油沥青是指由减压渣油经溶剂沉淀法得到的脱油沥青产品或半成品, 在常温下是半固体或固体; 氧化沥青是由减压渣油为原料经吹风氧化法得到的产品, 在常温下是固体。由上述生产方法得到的沥青再加入溶剂稀释, 或用水和乳化剂进行乳化, 或加入改性剂进行改性, 就可以分别得到: 稀释沥青、乳化沥青和改性沥青。前两种在常温下是液体, 可流动; 后一种沥

青视改性剂类型和生产方法可以是液体或半固体。由于稀释沥青使用过程中释放溶剂，污染环境，现在很少使用，本书不予论述。

直馏沥青、溶剂脱油沥青、氧化沥青以及调和沥青将在以后章节中详述（详细请参见第3章）。由于改性沥青，尤其是SBS改性道路沥青在实际生产应用中正受到越来越多的重视，故本书将其单独列为一章（详细请参见第5章）。

1.1.2.3 按用途进行分类

沥青按其用途可分为：道路沥青、建筑沥青和以用途或功能命名的各种专用沥青等。

石油沥青绝大部分用于铺筑路面外，在其他方面也有广泛的用途。如制造防水材料（石油沥青纸、沥青油毡、防水油膏等）、防腐及绝缘等方面。表1-3列出了石油沥青在国民经济中的主要用途。应当指出，表中不能详尽地列出使用的各个方面，而且，随着科学技术的发展，沥青的用途还在不断扩大。

表 1-3 石油沥青的种类和用途

项 目	直 馏 沥 青										氧 化 沥 青			
针入度级	0~10	10~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120	120~150	150~200	200~300	5~10	10~20	20~30	30~40
沥青混凝土			▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲				
乳化沥青						▲	▲		▲	▲				
稀释沥青						▲	▲	▲	▲	▲				
屋顶防水								▲	▲	▲			▲	
防潮纸												▲	▲	▲
沥青砖		▲	▲		▲							▲	▲	▲
接缝材料			▲	▲	▲							▲	▲	▲
沥青涂料	▲	▲	▲								▲	▲	▲	▲
防水材料												▲	▲	
油墨	▲	▲									▲	▲		
导火索	▲	▲									▲	▲		
电器绝缘												▲	▲	
管道防腐												▲	▲	▲
造气用						▲	▲	▲	▲	▲				

注：▲表示用途。