

 混凝土技术丛书

沥青混合料 设计与施工

● 陈拴发 陈华鑫 郑木莲 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

混凝土技术丛书

沥青混合料设计与施工

陈拴发 陈华鑫 郑木莲 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

沥青混合料设计与施工/陈拴发, 陈华鑫, 郑木莲编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 2
(混凝土技术丛书)
ISBN 7-5025-7732-7

I. 沥… II. ①陈…②陈…③郑… III. ①沥青拌和料-设计②沥青拌和料-沥青路面-工程施工 IV. ①U414.7②U416.217

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 004880 号

混凝土技术丛书

沥青混合料设计与施工

陈拴发 陈华鑫 郑木莲 编著
责任编辑: 窦臻 常青 马燕珠
文字编辑: 丁建华
责任校对: 王素芹
封面设计: 于兵

*

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)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 34 字数 632 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7732-7

定 价: 68.00 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

《混凝土技术丛书》编委会

- 主任** 姚 燕
- 副主任** 韩素芳 王铁梦 陈龙珠 王 玲
- 委员** (按姓氏笔画排序)
- 王 玲** 中国建筑材料科学研究院高级工程师, 中国混凝土外加剂协会秘书长, 中国土木工程学会外加剂专业委员会副主任, 中国建筑学会建材分会外加剂应用技术委员会副主任
- 王铁梦** 冶金建筑研究总院原副院长兼上海分院总工程师, 教授级高级工程师, 博士生导师, 国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心技术顾问
- 王爱勤** 北京市建筑材料科学研究院院长助理, 高级工程师
- 邱 平** 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心高级工程师
- 沈荣熹** 中国建筑材料科学研究院水泥与新型建筑材料研究所顾问, 教授级高级工程师
- 张树凯** 原国家建材局生产司司长, 中国水泥制品工业协会名誉会长, 高级工程师
- 张荣成** 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心教授级高级工程师
- 陈龙珠** 上海交通大学教授, 博士生导师, 安全与防灾工程研究所所长, 建设部桩基动测单位资质评审专家委员会委员
- 陈拴发** 长安大学公路学院教授
- 岳跃真** 中国水利水电科学研究院结构材料所副总工程师, 教授级高级工程师
- 周德源** 同济大学土木工程学院教授, 博士生导师
- 胡曙光** 武汉市副市长, 武汉理工大学教授
- 姜 红** 国家建筑工程质量监督检验中心常务副主任, 中国建筑科学研究院建筑工程检测中心主任, 教授级高级工程师
- 姚 燕** 中国建筑材料科学研究院院长, 教授级高级工程师, 博士生导师, 中国建筑材料工业协会副会长, 中国混凝土外加剂协会会长, 中国水泥制品工业协会副会长, 中国硅酸盐学会水泥分会主任, 中国水泥协会副会长, 中国建筑学会建材分会副主任
- 崔庆怡** 陕西建筑科学研究院顾问, 教授级高级工程师
- 隋同波** 中国建筑材料科学研究院院长助理, 所长, 教授级高级工程师, 博士生

导师，中国硅酸盐学会水泥分会秘书长

韩素芳 中国建筑科学研究院教授级高级工程师，中国土木工程学会混凝土质量专业委员会主任委员

韩继云 中国建筑科学研究院国家建筑工程质量监督检验中心研究员，一级注册结构师

出版者的话

混凝土具有强度高、耐久性好、原料来源广、制作工艺简单、成本较低、适用于各种自然环境等优点，因此，它是世界上使用量最大、最为广泛的首选建筑材料。近年来，随着建筑技术的不断更新，混凝土的组成及施工工艺也发生了巨大变化，混凝土结构的研发与创新，新材料、新工艺、新技术的开发应用，典型工程的创新应用等均取得了长足的进步，建造了许多举世瞩目的工程项目。为了及时总结推广和应用混凝土的新技术、新工艺、新材料，总结在混凝土研究开发方面的创新经验，以期进一步促进对混凝土的科学研究和技术发展，我们特邀请了中国建筑材料科学研究院、中国建筑科学研究院、原冶金工业部建筑科学研究所、上海交通大学等有关科研院所和企业的专家、教授编写了《混凝土技术丛书》和《建筑工程质量控制丛书》。

这两套丛书总结和反映了国内外有关混凝土研究、开发、应用的最新技术、最新进展，书中有不少数据与理论是作者长期实践经验的总结，这些资料非常宝贵，有的是第一次公开出版，具有非常重要的参考价值。这两套丛书是从事土木与水利工程的地质勘探、结构设计、施工技术、质量检测和监理等工作的科研人员及工程技术人员自学提高的必备参考书，同时也可作为继续教育的培训用书及相关院校师生的参考书。

我们真诚地欢迎读者和用户对丛书提出宝贵的意见和建议，以便再版时不断使其得到改进和完善。

化学工业出版社

2005年12月

前 言

沥青路面具有行车平稳、舒适、噪声低、养护维修方便、可以再生利用等特点，在各类公路和城市道路，尤其是高等级公路中得以广泛应用。随着道路交通事业的发展，一方面对沥青路面的路用性能提出了更高的要求，另一方面随着科学技术的不断进步，近年来又出现了许多新型沥青混合料路面结构和材料。因此，作为道路工程师不仅需要了解沥青混合料的基本特性，掌握不同沥青混合料的设计原理和方法，更主要的是还应该具备研究和开发新型材料的知识和能力。

随着《公路沥青路面施工技术规范（JTG F40—2004）》的颁布实施和 SMA、OGFC、Superpave、纤维沥青混合料等新型沥青混合料的广泛应用，在沥青路面的设计与施工中出现了相应的改变，为了便于工程技术人员更好地掌握沥青混合料的设计与施工，特编写本书，并对冷铺沥青混合料、稀浆封层与微表处、沥青路面再生技术等养护技术进行介绍。在全书的编写过程中，将编著者的研究成果和其他国内外先进的研究成果纳入其中，对近年来沥青混合料设计和施工中遇见的如马歇尔试验中稳定度、密度曲线无峰值，混合料特别是粗级配混合料或大粒径沥青混合料摊铺过程中的离析等热点难点做了细致的分析，并提出了合理的处理方法。

本书共分为三篇：第一篇，理论基础，主要介绍沥青结合料与沥青混合料的基本性质和技术要求，为沥青混合料的设计与施工控制提供理论基础；第二篇，沥青混合料组成设计，主要介绍热拌沥青混合料、Superpave 沥青混合料、SMA 混合料、纤维沥青混合料、开级配抗滑磨耗层（OGFC）混合料、大粒径沥青混合料（LSAM）、贮存式冷铺沥青混合料、沥青稀浆封层与微表处混合料、浇注式沥青混合料、再生沥青混合料等常用沥青混合料的材料技术要求和混合料设计方法，为合理选择和应用沥青混合料提供依据，并通过实用性很强的设计案例方便读者在具体实践中进行混合料组成设计；第三篇，沥青混合料施工，主要介绍热拌沥青混合料、沥青玛蹄脂碎石（SMA）混合料、开级配抗滑磨耗层（OGFC）混合料、浇注式沥青混合料、大粒径沥青混合料（LSAM）、沥青稀浆封层与微表处混合料、再生沥青混合料等沥青混合料的拌和生产、运输、摊铺与碾压等内容，并针对不同沥青混合料的特点提出了相应的施工注意要点及其对应的控制方法和保障措施。

在本书的编写过程中参阅了大量的文献资料，均列于书后，在此向作者表示感谢。同时对在编写过程中给予了热情帮助的长安大学公路学院的老师们表示衷心感谢。

限于作者水平，书中不妥之处在所难免，敬请国内外同行专家不吝赐教，批评指正。

编著者

2005年12月

目 录

第一篇 理论基础

| | |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 沥青结合料 | 3 |
| 第一节 沥青材料的分类、组成和结构 | 3 |
| 第二节 道路石油沥青的基本性质 | 12 |
| 第三节 改性沥青 | 42 |
| 第四节 乳化沥青 | 62 |
| 第二章 沥青混合料的技术特性 | 71 |
| 第一节 基本特性 | 71 |
| 第二节 高温稳定性 | 96 |
| 第三节 低温抗裂性 | 113 |
| 第四节 水稳定性 | 136 |
| 第五节 疲劳特性 | 154 |
| 第六节 老化特性 | 178 |

第二篇 沥青混合料组成设计

| | |
|------------------------------------|-----|
| 第三章 热拌沥青混合料 | 191 |
| 第一节 沥青混合料材料组成与技术要求 | 191 |
| 第二节 沥青混合料配合比设计 | 197 |
| 第三节 热拌沥青混合料配合比设计实例 | 218 |
| 第四章 Superpave 沥青混合料 | 225 |
| 第一节 Superpave 技术的诞生与发展 | 225 |
| 第二节 Superpave 沥青混合料设计 | 229 |
| 第三节 Superpave 沥青混合料配合比设计应用 | 244 |
| 第五章 沥青玛蹄脂碎石 (SMA) 混合料 | 257 |
| 第一节 SMA 混合料的结构组成及强度形成机理 | 257 |
| 第二节 SMA 混合料的材料组成及技术的要求 | 260 |
| 第三节 SMA 混合料的配合比设计 | 264 |
| 第四节 SMA 混合料设计实例 | 274 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第六章 纤维沥青混合料 | 281 |
| 第一节 纤维与纤维沥青胶浆基本性质 | 282 |
| 第二节 纤维沥青混合料的增强作用机理 | 292 |
| 第三节 纤维沥青混合料配合比设计 | 296 |
| 第七章 开级配抗滑磨耗层 (OGFC) 混合料 | 305 |
| 第一节 OGFC 混合料技术特点 | 305 |
| 第二节 OGFC 混合料的材料组成及技术要求 | 308 |
| 第三节 OGFC 混合料配合比设计 | 312 |
| 第八章 大粒径沥青碎石混合料 (LSAM) | 319 |
| 第一节 LSAM 混合料的结构特性及强度形成机理 | 319 |
| 第二节 LSAM 混合料级配设计 | 323 |
| 第三节 LSAM 混合料配合比设计 | 333 |
| 第九章 贮存式冷铺沥青混合料 | 339 |
| 第一节 贮存式冷铺沥青结合料的制备及技术要求 | 340 |
| 第二节 贮存式冷铺沥青混合料的组成材料及技术要求 | 343 |
| 第三节 贮存式冷铺沥青混合料的组成设计 | 348 |
| 第十章 沥青稀浆封层与微表处混合料 | 351 |
| 第一节 稀浆封层和微表处的结构类型 | 351 |
| 第二节 沥青稀浆封层和微表处的组成材料 | 353 |
| 第三节 稀浆封层与微表处混合料配合比设计 | 359 |
| 第十一章 浇注式沥青混合料 | 364 |
| 第一节 浇注式沥青混合料的技术特性 | 364 |
| 第二节 浇注式沥青混合料的组成材料及技术要求 | 365 |
| 第三节 浇注式沥青混合料的应用 | 369 |
| 第十二章 再生沥青混合料 | 376 |
| 第一节 沥青再生机理与方法 | 377 |
| 第二节 再生剂的作用及其技术标准 | 380 |
| 第三节 再生沥青混合料组成设计 | 383 |

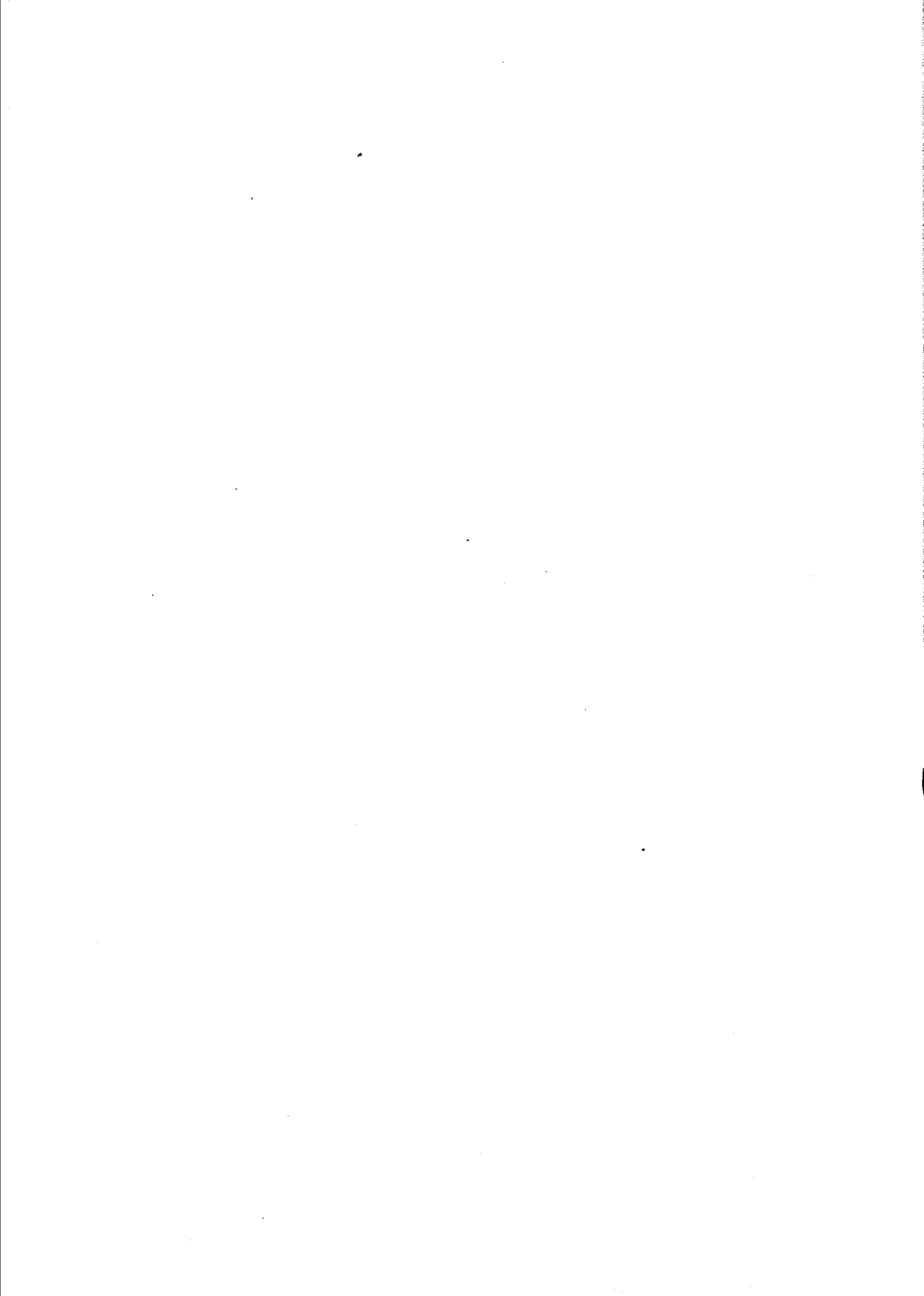
第三篇 沥青混合料施工

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第十三章 热拌沥青混合料路面施工技术 | 395 |
| 第一节 沥青混合料的拌制与运输 | 396 |
| 第二节 沥青混合料的摊铺 | 410 |
| 第三节 沥青混合料的压实 | 442 |

| | | |
|-------------|-------------------------------|------------|
| 第四节 | 沥青混合料的离析与防治 | 466 |
| 第五节 | 沥青路面施工质量管理与验收 | 472 |
| 第十四章 | 其他沥青混合料路面施工技术 | 483 |
| 第一节 | 沥青玛蹄脂碎石 (SMA) 混合料路面施工 | 483 |
| 第二节 | 开级配抗滑磨耗层 (OGFC) 混合料路面施工 | 493 |
| 第三节 | 浇注式沥青混合料路面施工 | 496 |
| 第四节 | 大粒径沥青混合料 (LSAM) 路面施工 | 500 |
| 第五节 | 沥青稀浆封层与微表处混合料路面施工 | 507 |
| 第六节 | 再生沥青混合料路面施工 | 520 |
| 参考文献 | | 528 |

第一篇

理论基础



第一章 沥青结合料

第一节 沥青材料的分类、组成和结构

沥青材料是以沥青为主要成分的一种有机结合料，它是由一些非常复杂的高分子碳氢化合物及其非金属元素（氧、氮、硫）的衍生物所组成。它们几乎能完全溶于二硫化碳、苯等有机溶剂。颜色呈黑色乃至黑褐色，常温时可为液态、半固态或固态，具有高度非牛顿液体、复合黏-塑性或黏-弹性的力学性质。另外，沥青材料具有不透水性，不导电，耐酸、碱、盐的腐蚀等特性，同时还具有良好的黏结性。

一、沥青材料的分类

沥青按其我在自然界中获得的方式或来源，可分为地沥青和焦油沥青两大类。

1. 地沥青

由天然产物或石油精制加工得到，以“沥青”占绝对优势成分的材料。按其产源又可分为天然沥青和石油沥青。

(1) 天然沥青 石油在自然条件下，长时间受各种自然因素作用，形成以纯粹沥青成分存在（如潮沥青、泉沥青或海沥青等）、或渗入各种孔隙性岩石中（如岩沥青）与砂石材料相混（如地沥青砂、地沥青岩）。前者可直接使用，后者可作为混合料使用，亦可用水熬煮或溶剂抽提（萃取）得到纯地沥青后使用。

湖沥青资源有限，现在仅仅把它用作其他黏稠沥青材料性能改善的添加料，如某些欧洲国家，使用特立尼达湖沥青改善沥青混合料抗车辙能力。岩沥青是石油渗透到岩石内经长期自然因素作用所形成的天然沥青，可以通过一定的提炼工艺把它从岩石中提炼出来，制成成品沥青，也可把含有沥青的岩石直接轧制，并根据岩石的成分、沥青的含量进行掺配调整，形成相应用途的沥青混合料。

(2) 石油沥青 由弥散于石油胶体中的沥青，经各种石油精制加工而得到的产品，常用的有直馏沥青、氧化沥青、裂化沥青、溶剂脱沥青、调和沥青等。还可经过加工得到轻质沥青、乳化沥青等。根据石油沥青的用途可分为道路石油沥青和建筑石油沥青，前者主要用于路面工程，通常为直馏沥青或氧化沥青；后者主要用于防水、防腐等土建防护工程中，大多为氧化沥青。

2. 焦油沥青

由各种有机物（煤、泥炭、木材等）干馏加工得到的焦油经再加工而得到。焦油沥青按其加工的有机物名称命名，如由煤干馏所得的煤焦油，经再加工后所得的沥青，即称为煤（焦油）沥青。煤沥青是由 5000 多种三环以上的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%，含氢仅为 4%~5%，所以可作为制取各种碳素材料不可替代的原料。根据软化点的高低，煤沥青可分为低温沥青、中温沥青和高温沥青。煤沥青尽管具有很强的黏附性，但有毒，污染严重，一般不常使用。

在道路工程中最常用的主要是石油沥青，其次是天然沥青。地沥青和煤焦油沥青的分类与形成条件见表 1-1。

表 1-1 地沥青和煤焦油沥青的分类与形成条件

| 产源 | 分类 | 名称 | 形成条件 |
|-------|------|------------------------------|--|
| 地沥青 | 天然沥青 | 湖沥青 岩沥青 砂石沥青 沥青岩 | 地下的沥青溢到地面形成湖盘状以形成湖沥青 沥青流入多孔石灰岩等形成岩沥青，将其砸碎可作为集料使用 沥青渗入砂层形成的 原油流入岩石缝后，经过漫长岁月形成的 |
| | 石油沥青 | 溶剂沥青 氧化沥青 直馏沥青 减压渣油 | 石油加工产品 |
| 煤焦油沥青 | | 低温沥青 中温沥青 高温沥青 | 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愿油得到 在正常条件下煤焦油初馏的产物 中温沥青蒸馏、氧化处理或加压热处理的产物 |

此外，根据沥青的加工工艺不同，可将沥青分为直馏沥青、溶剂脱沥青、氧化沥青、调和沥青、稀释沥青、乳化沥青、改性沥青等。前四种沥青在下面的石油沥青生产中将作介绍，若在前述沥青中加入溶剂稀释，或用水和乳化剂乳化，或加入改性剂改性，即可得到稀释沥青、乳化沥青和改性沥青等。

二、石油沥青的生产与加工

石油沥青是采用一定的生产工艺从石油当中加工出来的，石油品质和炼制工艺是影响沥青性质的两个主要因素。

（一）石油的基属分类

我国目前的原油分类是按照“关键馏分特性”进行的。石油在半精炼装置中，于常压下 250~275℃ 蒸得馏分为“第一关键馏分”；于 5.33kPa 压力下减压

蒸馏，275~300℃蒸得馏分称为“第二关键馏分”。测定以上两个关键馏分的相对密度，按其相对密度范围或特性因素，决定其关键馏分的基属，如石蜡基、中间基或环烷基。按两个关键馏分的基属确定石油的原油基属，可分为石蜡基、石蜡-中间基、中间-石蜡基、中间基、中间-环烷基、环烷-中间基和环烷基等7类。

原油也可根据石油当中的含硫量分为低硫原油（含硫量小于0.5%）和含硫原油（含硫量大于等于0.5%）。按现行常规工艺，作为生产沥青原料的原油基属的选择，最好选用环烷基原油。因为选用这种原油，无论采用何种工艺，都能很容易炼制出符合路用技术要求的沥青。石蜡基原油，因为含有较多的石蜡，炼制的沥青中含蜡量过高，造成路用性能低劣。这类沥青温度敏感性大，高温易软化，低温易脆裂，通常认为是不适宜生产路用沥青的原油。但是在油源限制的情况下，选用中间基或石蜡基原油时，通过适当的工艺方法（如溶剂脱沥青或半氧化法等），也能使沥青的性能得到适当的改善。

（二）石油沥青的生产工艺

石油经各种不同的炼制工艺、加工工艺，得到的石油沥青的性质也不尽相同。现代加工沥青的方法主要有以下几种。

1. 直接蒸馏法

直接蒸馏原油，将不同沸点的馏分取出后，在常压塔底获得的残渣为直馏沥青。原油脱水后加热至360℃，进入常压塔，在塔内分馏出汽油、柴油和重柴油。塔底常压渣油再进一步加热至390℃，进入减压蒸馏塔，此塔保持一定的真空度，分馏出减压馏分，塔底所存的减压渣油往往可以获得合格的道路沥青。直馏沥青生产过程如图1-1所示。蒸馏法制取石油沥青是最简单、最经济的方法。由于直馏沥青中含有许多不稳定的烃，其温度稳定性和耐候性差。但如果所用的原油合适（如环烷基或中间基原油），则往往延伸性好。

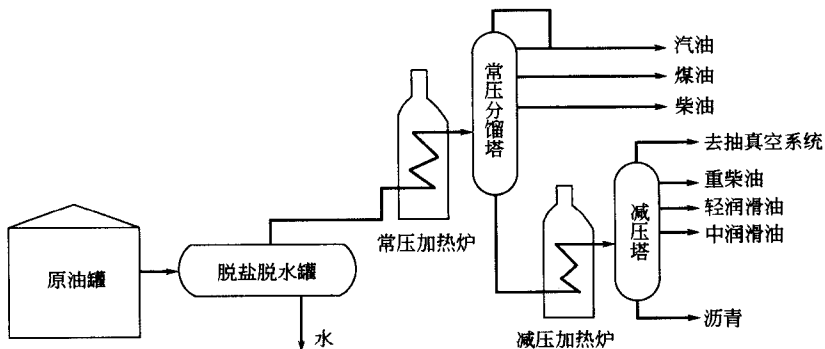


图 1-1 直馏沥青生产过程

2. 氧化法

将低标号的沥青或渣油在 $240\sim 290^{\circ}\text{C}$ 的高温下吹入空气，使其软化点提高，针入度降低，提高沥青的稠度。这种方法所得的沥青为氧化沥青，也称为吹制沥青 (Blown Asphalt)。氧化沥青生产工艺流程如图 1-2 所示。

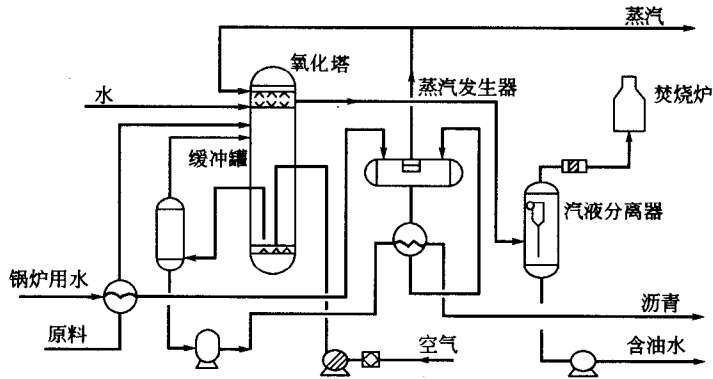


图 1-2 氧化沥青生产工艺流程

低标号沥青或渣油连续按一定的流速通入氧化塔。氧化塔系中空圆筒，里面装有栅板，以减少返混。随着风量的增加、反应时间的延长和反应温度的增高，渣油中的化学组分将发生转化。由于渣油中组分含量的变化，引起胶体结构的改变，因此路用性能亦发生变化。化学组分转化的规律大致为：饱和分、芳香分和胶质的含量逐渐减少，沥青质的含量不断增加，而蜡的含量几乎不变。随着化学组分的变化、沥青质含量的增加，胶团数量亦增加，而且吸附在胶团上的胶质减少。同时胶团间的芳香性亦降低，所以网状结构更为发达，遂使沥青趋向凝胶化。最终使氧化沥青的分子量增大，软化点升高，针入度减小，延度降低。

低硫石蜡基原油的渣油经过氧化后，虽然化学组分中沥青质含量增加，可以使稠度增高（即黏度增大、针入度减少）和软化点升高，但因化学组分中芳香分含量减少，特别是胶质含量的大量减少，且含蜡量仍然很高，故其延度仍然很低。这就是多蜡渣油经过氧化后，只能提高稠度，增加黏附性，而不能改善延度的原因。氧化法主要用来生产高软化点的建筑沥青。当直馏法不能直接生产道路沥青时，有时采用浅度氧化的方法，在比较低的温度下氧化较短的时间，所得沥青为半氧化沥青。

3. 溶剂法

石蜡基原油的残渣富含高沸点石蜡烃，蒸馏法很难将它完全蒸出。这些组分留在沥青中使沥青的稠度达不到要求，且软化点和延度都低。由于这种沥青中的饱和烃几乎不能被氧化，而芳香烃和胶质则大量被氧化成沥青质和炭青质，这样