



高等学校试用教材

Liqing Yu Liqinghunnheliao

# 沥青与沥青混合料

张 登 良 主 编

人民交通出版社

# 前 言

沥青路面是以沥青为结合料，矿质集料为骨架或填充料，通过一定的工艺制备成沥青混合料所铺筑的路面。

由于沥青材料具有良好的粘结性、憎水性与化学稳定性，以及具有非牛顿液体或复合粘弹性的力学特性，因而能较好地满足公路路面性能的要求。

随着公路运输事业的发展，石油沥青的需求量在逐年上升。据统计，世界上石油沥青总产量的62.2%用于道路铺筑。实践证明，铺筑沥青路面，对提高车速、降低油耗及运输成本、延长轮胎行驶里程和汽车大修里程、节省养路费用等均可取得显著效果。

我国现有沥青路面公路约20余万公里，但绝大多数是渣油表面处治，不能满足重交通、高速行驶的要求。随着道路等级的提高与现有道路的改建，对沥青路面提出了更高的要求，这就有必要对沥青材料及沥青混合料的路用性能进行较深入地研究。

《道路建筑材料》和《路面工程》这两门课程已对沥青材料、沥青混合料及沥青路面的基本性质做了较系统的介绍，《沥青与沥青混合料》是在这两门课程基础上的进一步补充和深化。本教材着重论述沥青材料的组成与结构、沥青的流变性质、沥青的稀释与乳化、沥青的老化与再生，以及沥青性能改善等有关沥青材料基本性能的机理与工艺，并在此基础上系统论述沥青混合料的强度原理、变形特性、高温稳定性、低温抗裂性、疲劳特性，以及沥青混合料组成设计等主要路用技术性能的机理与评价、计算方法。在编写过程中，作者广泛地参阅了国内外的有关研究成果及论文资料，既注重对基本原理的论述，又注意了对生产实践的参考价值。

本教材的前言、绪论及第六章由西安公路学院张登良编写，第一篇由同济大学严家焱编写，第七、八、九章由哈尔滨建筑工程学院王哲人编写，第十、十一章由西安公路学院许永明编写，全书由张登良统稿并组织编写，由东南大学李一鸣主审。

由于编著者水平所限，书中错误与不妥之处在所难免，敬请批评指正。

(京)新登字 091 号

### 内 容 提 要

《沥青与沥青混合料》是一本论述沥青与沥青混合料路用技术性能的机理和工艺的专著，内容包括沥青材料的组成与结构、沥青的流变性质、沥青的稀释与乳化、沥青的老化与再生、沥青性能改善，以及沥青混合料的强度原理、变形特性、高温稳定性、低温抗裂性、疲劳特性和沥青混合料的组成设计等。

本书可作为高等学校公路与城市道路工程专业研究生教材，亦可供有关专业科技人员、工程技术人员、高校师生学习参考。

### 高等学校试用教材 沥青与沥青混合料

张登良 主编

插图设计：裘琳 正文设计：周圆 责任校对：杨杰

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京怀柔黄坎印刷厂印刷

开本：787×1092  $\frac{1}{16}$  印张：14.5 字数：362千

1993年6月 第1版

1993年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5000册 定价：3.75元

ISBN7-114-01461-9

U·00974

# 目 录

绪 论	1
-----	---

## 第一篇 沥 青 材 料

<b>第一章 沥青材料概述</b>	8
§ 1-1 沥青材料的产源和工艺	8
§ 1-2 沥青材料的组成和结构	11
§ 1-3 沥青材料的技术性质和技术标准	27
<b>第二章 沥青材料的流变性质</b>	46
§ 2-1 表征沥青材料流变行为的常用模型	46
§ 2-2 沥青材料的流变特性	51
§ 2-3 评价路用沥青材料流变性质的实用方法	55
<b>第三章 沥青材料的调合与乳化</b>	61
§ 3-1 沥青材料的调合	61
§ 3-2 沥青材料的乳化	67
<b>第四章 沥青材料的老化和再生</b>	76
§ 4-1 沥青材料的老化	76
§ 4-2 沥青材料的再生	82
<b>第五章 沥青材料的性能改善</b>	85
§ 5-1 高聚物改性沥青	85
§ 5-2 炭黑改性沥青	96
§ 5-3 其他改性措施综述	97

## 第二篇 沥 青 混 合 料

<b>第六章 沥青混合料的组成结构及强度原理</b>	99
§ 6-1 沥青混合料的结构与强度理论	99
§ 6-2 沥青与矿料之间的相互作用	101
§ 6-3 影响沥青混合料强度的因素	106
§ 6-4 提高沥青混合料强度的措施	109
<b>第七章 沥青混合料的线粘弹性</b>	113
§ 7-1 线粘弹性的基本原理	113
§ 7-2 沥青混合料的模量	120
§ 7-3 劲度模量主曲线	131
§ 7-4 沥青混合料的强度	138

<b>第八章 沥青混合料的高温稳定性</b> .....	147
§ 8-1 概述.....	147
§ 8-2 沥青混合料的高温软化.....	148
§ 8-3 沥青混合料的永久变形.....	153
§ 8-4 沥青混合料的稳定性设计标准.....	159
§ 8-5 沥青面层的车辙预估.....	161
<b>第九章 沥青混合料的低温稳定性</b> .....	169
§ 9-1 概述.....	169
§ 9-2 沥青混合料的低温脆化.....	169
§ 9-3 沥青混合料的低温缩裂.....	173
§ 9-4 沥青混合料的温度疲劳.....	183
<b>第十章 沥青混合料的疲劳特性</b> .....	185
§ 10-1 概述.....	185
§ 10-2 沥青混合料疲劳的力学模型.....	187
§ 10-3 影响沥青混合料疲劳的因素.....	192
§ 10-4 应用现象学法预测沥青路面疲劳寿命的方法.....	201
<b>第十一章 沥青混合料的组成设计</b> .....	203
§ 11-1 概述.....	203
§ 11-2 矿料的级配理论.....	203
§ 11-3 沥青用量的估算公式.....	214
§ 11-4 沥青混合料的组成设计方法.....	216
参考文献.....	226

# 绪 论

## 一、沥青及沥青路面发展概况

据历史记载,远在公元前 3800 年到 2500 年间,人类就开始使用了沥青,并先后在埃及的尼罗河、美索不达米亚的底格里斯河及幼发拉底河,巴基斯坦的印度河等流域开发沥青矿藏。

约在公元前 600 年,在巴比伦铺筑了第一条沥青路面,但这种技艺不久便失传了,一直到 19 世纪,人们才又用沥青来筑路。据记载,1833 年在英国开始进行煤沥青碎石路面铺装;1854 年在巴黎首次用碾压法进行沥青路面铺装;1870 年前后在伦敦、华盛顿、纽约等地采用沥青作路面铺装。

自从沥青材料用于道路工程之后,由于自原油蒸馏所得的渣油感温性差,迫切需要加以处理,于是各种改性措施便应运而生。大约在 1866 年,曾有人采用硫化的方法,即用硫磺与沥青共热的方法,使所得产品软化点升高,针入度降低,其商品名曰匹兹堡沥青 (Pittsberg flux)。1881 年 E·J·De Smedt 使用化学氧化剂制取氧化沥青,成功地改善了沥青的性质。1894 年美国的 F·X·Byerleg 在沥青温度为 600°F 时吹入空气,成功地制取了氧化沥青。

人们在筑路或其他作业时,常感到沥青需要加热,使用上很不方便,1910 年在科诺大学广场上开始第一次使用稀释沥青。当时,利用沥青的铺路技术,还只限于在道路表面上涂刷一层沥青,即单层表面处治。在此以前,可以算是沥青材料在道路工程中使用的启蒙时期。

第二个时期大约为 20 世纪的 20 年代到 50 年代,在这个时期中,沥青路面技术在欧美等许多国家得到迅速发展。1911 年美国首先提出按针入度分级指标。1916 年德国马尔库逊 (Malcuson) 提出了最初的沥青组分分析方法,研究了沥青组分含量和路用性能的关系。其后,经过雷西希娜 (Лыццихена)、哈巴尔德 (Habal't)、科贝尔特 (Kobelt)、饭岛博等人的补充和修正,形成了目前的组分分析法。在这一时期中,各国对沥青的物理性能、化学结构及试验方法等进行了大量的研究。但是由于沥青组成和结构的复杂性,此研究未取得重大突破。

近几十年来,随着公路等级的不断提高,对沥青材料提出了更高的要求,促使研究工作进一步深入开展。除针入度、延度、软化点等目前习用的三大指标外,先后提出了脆点、含蜡量、族组分分析、粘附性,以及回转薄膜烘箱老化等一系列非常规指标。还应用流变学的理论和方法研究了沥青的粘弹性力学特性、蠕变、应力松弛、沥青性能对温度和时间的依赖关系,以及劲度和针入度指数等与流变学有关的指标。

与此同时,出现了各种改性沥青,如往沥青中掺入橡胶、树脂、硫磺及其他高聚物等。

在路面结构类型方面,由于单层表面处治已不能满足交通要求,出现了用沥青混合料摊铺的沥青路面结构类型,并开始制订沥青混合料的评定方法和要求。沥青混合料的试验方法首先是 1920 年出现的哈伯费尔特法〔试样直径 5.08cm (2 英寸)、高 2.54cm (1 英寸)],随

后,随着交通量增长、车辆荷重增大,沥青路面结构层使用颗粒尺寸较大的碎石,对哈伯费尔特试验进行了修正,提出了修正的哈伯费尔特法[试样直径15.2cm(6英寸)、高7.6cm(3英寸)]。第二次世界大战期间,美国工程兵团为谋求机场铺筑工程快速化,由密西西比州道路局的马歇尔工程兵团提出了马歇尔稳定度试验方法,并通过试验研究提出了初期的马歇尔稳定度标准。该标准确定对双轮胎压力0.7MPa,要求稳定度在2270N以上,流值在20(1/100cm)以下,空隙率3%~7%。还有维姆法和单轴压缩试验法也用于沥青混合料试验,亦提出了相应的标准。这些试验方法至今仍在沿用,只是根据交通发展的要求对标准进行了适当的修正。

近年来,乳化沥青的问世,得到了人们的关注,并有逐渐取代稀释沥青的趋势。

这个时期,在一些石油资源开发较晚或贫油的国家中,沥青路面也开始了试验应用。我国于1935年在南京附近利用进口沥青修筑了沥青路面试验路段;1941年又在滇缅公路修筑了沥青双层表面处治155km;抗日战争胜利后又在宁杭公路修筑了沥青贯入式及双层沥青表面处治等沥青路面。

随着公路交通运输的发展,路面的铺装率迅速提高,技术等级较高的公路,多数为沥青路面,因此,石油沥青的需求量逐年上升。

从50年代开始,沥青路面的研究进入了沥青和沥青混合料的理论研究阶段,即沥青路面发展的第三个时期。在这个时期,沥青路面的研究主要有以下几个方面:

(1) 研究沥青材料的性质及其与矿料之间的相互作用机理,以改善沥青性能,提高沥青混合料的强度与稳定性。

(2) 在车辆重复作用下,低温时产生收缩与疲劳开裂,高温时产生永久变形和车辙,这是沥青路面的典型破坏现象。裂缝及车辙的形成规律及其预测与防治方法是当时研究的重要课题。

(3) 以提高耐久性为目的的沥青路面结构的研究。目前大交通量的沥青路面,除采用沥青混凝土作面层外,有些国家主张采用密实的沥青面层,如德国的摊铺式沥青路面,英国的碾压式沥青路面和美国的沥青砂胶面层等。有些国家采用全厚式沥青路面,对延长疲劳寿命和简化施工工艺都起到了一定的作用。

(4) 路面的平整度与粗糙度是面层结构中的一个重要课题,因为这是保证高速、安全行车的必要措施。

(5) 当前,许多国家都力图建立沥青路面的数学模型。同时,大力开展沥青混合料的流变性能和动力性能试验,以建立一套完整的设计方法及提供必要的设计参数。

近年来,由于多次出现能源危机,沥青路面的再生和沥青材料的重复利用受到了极大的重视。许多国家对再生机理、再生沥青混合料的性能与设计方法,以及对旧路面的回收、加热、拌和、摊铺等施工方法和施工机械等都进行了大量的研究。

虽然自60年代以来,国内外许多学者对沥青的性能和结构解析进行了大量的研究,但是由于沥青材料是一种成分极为复杂的无定型高分子化合物的混合物,所以研究进展较为缓慢。目前所使用的分析仪器,如红外光谱吸收仪,各种光线衍射仪、电子探针等,仅适用于分析结晶型高分子化合物,而沥青属于无定形区域中的高分子化合物的混合物范畴,用这些仪器分析沥青诚难奏效。虽然目前扫描电子显微镜可以直接观察到无定形高分子物质的聚集状态,但对其聚集状态的分析还存在着许多困难,因此对沥青材料的许多问题尚待进一步研究与探讨。



## 二、沥青路面的工作条件及工作特性

当前世界各国的高等级公路大多采用沥青路面，其原因是由于它具有下列许多固有的良好性能：

(1) 有足够的力学强度，因而沥青路面能很好地承受车辆通过路面所产生的各种作用力；

(2) 有一定的弹性和塑性变形能力，因而能承受发生的应变而不致破坏；

(3) 与汽车轮胎的附着力较好，从而可保证交通安全；

(4) 有高度的减振性，因而可保证汽车快速行驶平稳而无噪声；

(5) 不扬尘，容易清扫和冲洗，不污染空气；

(6) 沥青路面的维修工作比较简单，且旧沥青路面可再生利用；

(7) 沥青路面的施工与维修，都能广泛地实现机械化。

沥青路面的使用经验表明，由于选料或施工、养护不当，常常过早地发生各种变形和损坏，导致路面的使用期限缩短或维修费用增加。为了提高沥青路面的使用品质和耐久性，必须认清其工作条件和工作特性。

具有显著流变性质的沥青路面的强度、稳定性和可靠性有别于固体的相应概念。这是因为沥青混合料具有随温度和加荷时间而变化的特性。在不同的温度和加荷方式的情况下，沥青路面可具有弹性、粘滞性或塑性体的性质。

路面在低温、短时间荷载的作用下接近于弹性体；随温度升高，特别是荷载作用时间的延长及荷载重复次数的增多，路面逐渐接近于塑性体，而其变形则由其粘滞性质所决定。

路面变形的时间不长时，变形将是弹性的，但不象弹性体那样瞬时就能恢复，而是受粘滞度的影响逐渐恢复。当荷载作用时间较长或重复作用时，会因粘滞蠕动而产生剩余变形。

沥青路面通常用来作为路面的面层，因而它承受着各种车辆和自然因素的直接作用。

作用于路面上的行车荷载是比较复杂的。从荷载作用的方向来看，有垂直荷载和水平荷载；就荷载的动力性质而言有静荷载与动荷载；而荷载作用的时间和频率，不仅有较长时间的作用，而且有瞬时的多次作用，等等。

行车荷载对路面施加的作用力，大致可分为下列几种：①通过车轮传给路面的垂直压力；②由于制动、加速、转向以及克服前进中的各种阻力对路面施加的水平力；③由于路面高低不平，汽车颠簸和汽车机件的震动而施加于路面的冲击力和震动力；④由于车轮后方与路面之间形成暂时的真空而产生的真空吸力。

沥青路面在车轮荷载的重复作用下，塑性变形逐步积累，导致产生永久变形或车辙，从而使路面的平整度降低。这种塑性变形主要发生在高温季节沥青路面的“软化”时期。

沥青路面在车轮垂直荷载的作用下，当基层整体强度较低时，将产生较大的弯拉应力和应变；在低温季节，沥青路面质地脆硬，抵抗变形的能力极差，在车轮荷载的反复作用下，当应力或应变超过路面的疲劳极限时，则产生裂缝，这是导致沥青路面破坏的主要原因之一。

行车荷载的水平力作用对于沥青面层的力学特性有着重要的意义。在垂直力与水平力的综合作用下，沥青面层中将产生较大的剪切应力。在高温季节，路面的强度降低，当所产生的剪切应力超过其本身的抗剪强度时，常发生沥青路面的推移、拥包等。这种现象多发生

在急弯、陡坡以及停车站、十字路口等水平力作用较大之处。

沥青路面由于具有较低的刚度，对来自车轮荷载的冲击、震动力有一定的缓冲和消震的能力。

铺筑在路表的沥青面层还承受着车轮的磨损作用，由于沥青膜包裹了矿料表面，使得路面的耐磨性有所提高。

由于沥青混合料中的细粒料被沥青牢固地粘结在一起，因而在真空吸力作用下不会导致扬尘。

各种自然因素对沥青路面的物理、力学性质均有直接的影响，尤其是温度和水这两个因素对沥青路面具有极为重要的影响。

沥青的粘度受温度影响极大，即随着温度的升高，其粘度急剧下降，由低温时的硬脆固体，到常温下的粘弹性体，以致高温时呈流动状态。研究认为，沥青的针入度 ( $P$ ) 与温度 ( $t$ ) 之间大致存在如下关系：

$$\lg P = at + b$$

式中， $a$ 、 $b$  为经验系数。

同时，沥青混合料的强度也随着温度的升高而急剧下降。试验表明，不同温度下标准沥青混凝土试件的抗压强度平均值为：

温度 (°C)	抗压强度 (MPa)
+50	1~2
+20	2.5~5
0	8~13
-10	10~17
-35	18~30

应注意的是，虽然在低温时沥青混合料具有很高的强度，但其抗拉伸变形的能力显著下降（见下列试验资料）：

温度 (°C)	极限相对延伸度
+20	0.004 ~ 0.015
0	0.002 ~ 0.006
-20	0.0006 ~ 0.0015

因而，在冬季低温期间，沥青路面常常由于面层本身的收缩、路基的不均匀冻胀、以及在行车的反复作用下，路面的延伸度超过允许极限值，而导致沥青路面开裂。

必须指出，沥青路面的温度与气温并不相同，沥青路面层内不同深处的温度也不一致，它是随着观测季节、观测时间、路面厚度等因素而变化的一个复杂变量。

日本的秋山政敬对沥青路面温度的调查研究得出了下列几点结论性意见：

(1) 沥青路面的表面温度  $T_s$  与气温  $T_a$  之间，在雨天时大致有直线关系，而在晴天与阴天时则呈曲线关系，其关系式表达为

雨天时：
$$T_s = 1.233T_a + 0.833$$

晴天与阴天时：

$$T_s = 1.100T_a + 1.500 + 0.170e^{0.126T_a}$$

(2) 沥青路面层内最高温度  $T_{max}$  与其表面温度，不管层厚大小，皆为直线关系，但层厚越大则比率也越大。其关系式可表达为：

$$T_{max} = mT_s + b$$

式中  $m$ 、 $b$  为系数，随路面层厚不同而有如下变化：

层厚 (cm)	$m$	$b$
25	0.802	1.702
20	0.804	1.401
15	0.854	0.688
10	0.918	0.303
5	0.980	0.798

(3) 沥青路面层内温度与其表面温度之间的关系是：越接近沥青层的表面，气温对层内温度的影响越大，反之则越小；每天的 11~12 时表面温度最高，13 时以后表面温度开始下降，此时层内温度反而偏高。

(4) 当气温在  $10^{\circ}\text{C}$  左右时以及在雨天时，沥青路面的表面及层内的温度最为稳定，一般是在 3 月和 11 月间，由于昼夜温差较小，沥青路面的温度变化幅度较小。

(5) 从整层着眼，认为采用沥青层的层内平均温度作为计算温度较为合理，把这个温度称为“平衡点温度”。

我国上海地区沥青混凝土面层温度状况的回归方程为：

$$T_{max} = 8.68 + 0.874T_{max}^{\circ} + 0.007L$$

式中： $T_{max}$  —— 路面表面最高温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$T_{max}^{\circ}$  —— 最高气温 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$L$  —— 日辐射热 ( $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ )。

可以认为，路面表面温度的周期性变化与气温的变化规律基本上是一致的。但是，在太阳直接辐射下，由于有一部分辐射热被路面吸收，致使路面表面温度较气温高。

图 1 所示为沥青路面中不同深度的昼夜温度变化。可以看出，太阳辐射和气温对沥青路面的温度有很大影响。路面不同深度处的温度，也随气温变化呈现出周期性变化，但变化的幅度随深度的增大而减小。

图 2 示出原苏联 A.M. 阿利耶夫在巴库地区夏季炎热一天观测的沥青混凝土路面受热的规律性。曲线表明该地区沥青混凝土路面的最高温度达到  $62^{\circ}\text{C}$ ，此温度发生在最炽热的日

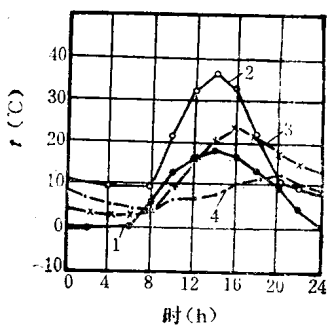


图 1 沥青路面的昼夜温度变化规律  
1-气温；2-6.5cm 深；  
3-10cm 深；4-30cm 深

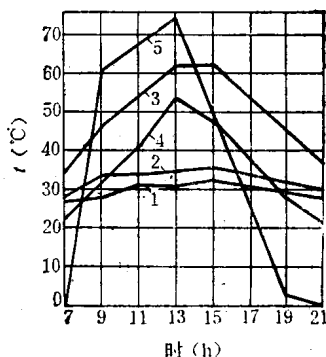


图 2 沥青混凝土路面受热的规律性  
1-沥青混凝土路面上空(高1.8m处)的空气温度；2-沥青混凝土路面上空(高0.1m处)的空气温度；3-沥青混凝土路面的温度；4-土壤表面处的温度；5-日光辐射温度

光辐射后，并能保持 2h 左右。此时，路面温度比地面温度高出将近一倍。

水对沥青路面的影响主要表现在：①沥青路面在水的作用下会使沥青与矿料分离，还会将沥青中某些可溶性化合物溶解并冲走，尤其是当水中含有易溶盐时会发生乳化作用，从而加剧了溶蚀作用；②沥青路面长时间浸水后会因含水量增加而发生体积膨胀，强度降低。沥青路面受水影响的程度取决于当地的气候、水文情况、路表的排水能力、路面的渗水性，以及沥青路面本身的水稳性等。

此外，沥青路面在使用过程中，在阳光、温度、空气等大气因素的作用下，沥青中的轻质组分逐渐挥发，并不断发生氧化聚合反应，使沥青中的油分、树脂逐渐减少，沥青质相对增多，并因为沥青质部分地转化为沥青碳，致使沥青路面的粘塑性降低，路面干涩，裂缝、松散相继出现，即发生沥青路面的“老化”。随着老化现象的发展，沥青变脆，路面的抗变形能力降低，在行车荷载和冰冻的作用下，极易产生裂缝，最终形成龟裂而导致路面的破坏。沥青路面的老化速度取决于当地的气候、沥青路面的层位，以及沥青和沥青混合料的性质。在气温较高及日照时间较长的地区，受大气因素作用较为剧烈的表层，老化速度最快；沥青混合料的孔隙率大时也会加速老化；沥青中不饱和烃及芳香烃越多时，也易发生老化；矿料中含有铝、铁等盐类时，会起催化作用，它们与沥青中的沥青酸作用生成有机酸铝盐或铁盐，从而亦加速沥青的老化。

### 三、对沥青路面的基本要求

如前所述，沥青混合料通常用于铺筑路面的面层，它直接承受车辆作用和大气因素的影响。同时，沥青材料的物理、力学性质受气候因素与时间因素影响很大，这是沥青路面使用中的一个重要特点。根据这一特点，沥青路面必须满足下列基本要求：

1) 高温稳定性 沥青路面的强度与刚度随温度升高而显著下降。为了保证沥青路面在高温季节行车荷载的反复作用下不致产生诸如波浪、推移、车辙、泛油、粘轮等病害，沥青路面应具有良好的高温稳定性，即在高温时具有足够的强度和刚度。

为了提高沥青混合料的高温稳定性，可采用在混合料中增加粗矿料含量，或限制剩余空隙率，使粗矿料形成空间骨架结构，以提高沥青混合料的内摩阻力；适当地提高沥青材料的稠度，控制沥青与矿粉的比例，严格控制沥青用量，采用活性较高的矿粉，以改善沥青与矿料之间的相互作用，从而提高沥青混合料的粘聚力。此外，在沥青中掺入聚合物改善沥青性能，亦可取得比较满意的结果。

2) 低温抗裂性 裂缝是沥青路面的一种主要破坏形式，而裂缝的出现往往是路况损坏急剧增加的开始。

沥青路面的裂缝可归为两种类型：一种是在交通荷载的反复作用下的疲劳开裂；另一种是由于降温而产生的温度收缩裂缝，或由于半刚性基层开裂而引起的反射裂缝。

由于沥青路面在高温时变形能力较强，而低温时较差，故不论那种裂缝，以在低温时发生的居多。从低温抗裂性的要求出发，沥青路面在低温时应具有较低的劲度和较大的抗变形能力，且在行车荷载和其他因素的反复作用下不致产生疲劳开裂。

使用稠度较低、温度敏感性低的沥青，可提高沥青路面的低温抗裂性能。沥青材料的老化使其低温性能恶化，故为了提高沥青路面的低温抗裂性能，应选用抗老化能力较强的沥青。往沥青中掺入橡胶等高聚物，对提高沥青路面的低温抗裂性能具有较为明显的效果。在沥青路面结构层中铺设沥青橡胶或土工布应力吸收薄膜，对防止沥青路面低温开裂具有显著

作用。

3) 耐久性 沥青路面应具有抵抗温度、阳光、空气、水等各种大气因素作用的能力,即在这些因素的作用下沥青路面的性质不致很快恶化——失去粘性、性质变脆,以致在行车荷载和其他因素的作用下发生碎裂,乃至沥青与矿料脱离,使路面松散破坏。

研究表明,沥青路面的使用寿命与混合料中的沥青含量有很大关系。当沥青用量不足时,则沥青膜变薄,混合料的延伸能力降低,脆性增加,且混合料的空隙率增大,使沥青膜暴露增多,从而促进了老化作用。此外,空隙率增大也会使混合料的渗水率增加,从而加强了水对沥青的剥落作用。

4) 抗滑能力 现代交通车速不断提高,对路面的抗滑能力也提出更高的要求。沥青路面应具有足够的抗滑能力,以保证在最不利的情况下(当路面潮湿时),车辆能够高速安全行驶,而且在外界因素的作用下其抗滑能力不致很快降低。

沥青混合料的粗糙度与矿质集料的微表面性质、混合料的级配组成以及沥青用量等因素有关。为保证路面的粗糙度不致很快降低,应选择硬质有棱角的石料。研究表明,沥青用量对抗滑性的影响相当敏感,沥青用量超过最佳用量 0.5% 时就会导致抗滑系数的明显降低。

5) 防渗能力 当沥青路面防渗能力较差时,不仅影响沥青路面本身的稳定性,而且还影响到基层的稳定性。因此,沥青路面必须具有较高的抗渗能力,在潮湿多雨地区尤为重要。

沥青路面的抗渗能力主要取决于混合料的空隙率,空隙率越大,其抗渗能力越差。

# 第一篇 沥青材料

## 第一章 沥青材料概述

### §1-1 沥青材料的产源和工艺

#### 一、沥青材料的产源

沥青路面用的沥青结合料，主要有两大类：一类来源于石油系统，或天然存在或经人工提炼而得到，称为“地沥青” (Asphalt)；另一类为各种有机物干馏的焦油，经再加工而得，称为“焦油沥青” (Tar)。

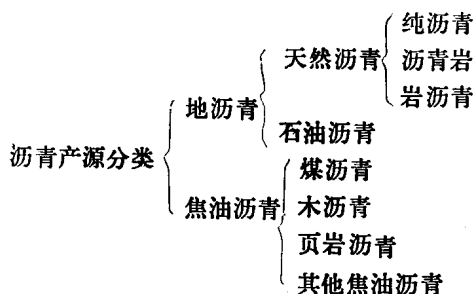
地壳中的石油，在各种自然因素的作用下，经过轻质油分蒸发、氧化和缩聚作用，最后形成的天然产物，称为“天然沥青” (Natural asphalt)；石油经各种炼制工艺的加工而得到的沥青产品，称为“石油沥青” (Petroleum asphalt)。

天然沥青的产状有以湖状、泉状等纯净状态存在的“纯地沥青”，也有渗透于岩石中的“岩地沥青”，或与岩石或砂石相混而成的“地沥青岩”。非纯净存在的天然沥青可经水熬煮法或溶剂抽提法而获得纯沥青，亦可与相混的砂石等矿质材料共同轧制成“地沥青混合料”或“地沥青砂胶”而铺筑路面。

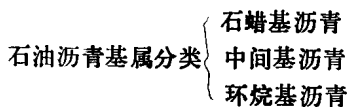
焦油沥青按其焦油获得的有机物名称而命名，如煤焦油获得的焦油沥青称为“煤焦油沥青”，简称“煤沥青”。其他还有“木沥青”、“泥炭沥青”等。

页岩沥青的技术性质近似于石油沥青，但其生产工艺基本上与焦油沥青相同，故按其产源分类，属于焦油沥青类。

道路建筑用沥青材料，按其产源可分为下列几类：



石油沥青的性质不仅与产源有关，而且与制造沥青的石油基属有关。石油沥青按其原油可分为下列主要基属：



## 二、沥青材料的生产工艺

石油经各种不同的炼制工艺，可得到不同品种的石油沥青。采用常规工艺获得的沥青有：直接蒸馏法获得的“直馏沥青”（Straight asphalt）；蒸气精炼法获得的“蒸气精制沥青”（Steam refined asphalt）；吹入空气氧化获得的氧化沥青（Oxidized asphalt）；以及采用溶剂法得到的溶剂沥青（Solvent asphalt）。现就几种常规工艺简述如下：

1) 蒸馏法：蒸馏法生产沥青的工艺示意如图 1-1。该法是将原油经初馏塔初馏后，再由

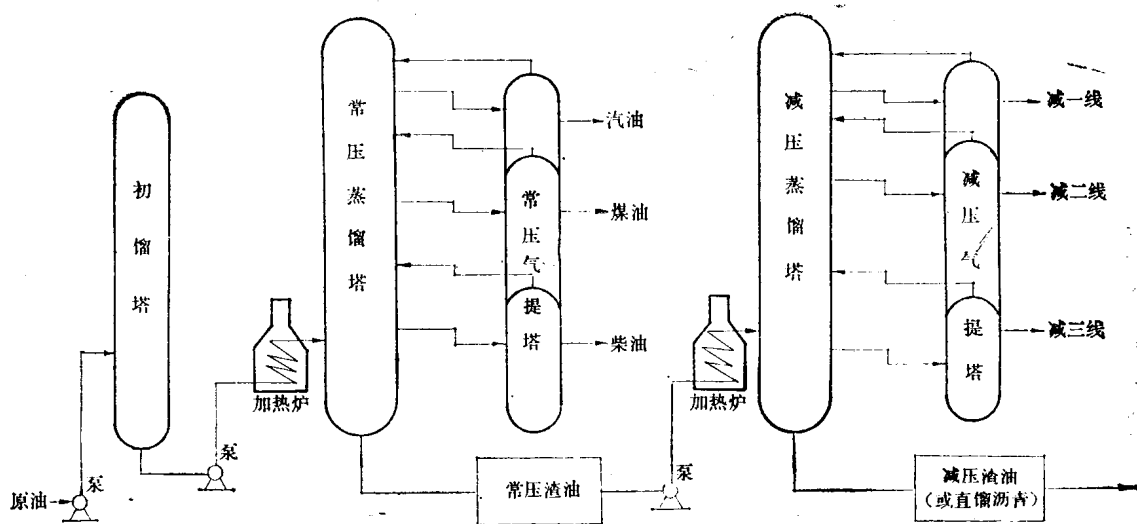


图 1-1 蒸馏法生产沥青的工艺示意图

管状加热炉进入常压蒸馏塔，在常压条件下，蒸馏出各种轻质油品（如汽油、煤油和柴油等）后，从常压塔底获得的为“常压渣油”。这种渣油通常稠度较低，仅能作为透层油或表处用油。常压渣油再经加热进入减压蒸馏塔，在减压条件下，分馏出减一线、减二线、减三线油（即重柴油和润滑油原料）后，从减压塔底获得的为“减压渣油”。这种渣油的稠度较常压渣油为高，可作为表面处治或贯入式路面用油。由于原油基属和所含各种沸点的组分数量不同，所以在相同蒸馏工艺条件下，所获得的渣油稠度亦不同。例如采用某些环烷基石油为原料，经过减压塔高真空度的深拔，也可以直接得到相当于针入度级的直馏路用沥青。直馏沥青因为仅分馏出一些轻质的油品，其化学组分并未发生化学变化，它与氧化沥青相比，温度稳定性和气候稳定性较差，但直馏沥青的优点是粘度与塑性之间的关系较好（即粘度增加时延性降低较少）。

2) 蒸气精炼法：蒸气精炼法实质上也是生产直馏沥青的一种工艺。即在减压蒸馏的同时，通进一部分的过热蒸气，分担其部分分压，使一些重质油品容易分馏出来，故称为“减蒸气提”，这种工艺能使渣油稠度提高，但是否能改善其路用性能，主要取决于生产原料渣油的原油基属。对于环烷基原油生产的渣油，可以得到良好的效果；而对石蜡基原油生产的渣油采用这一方法，目前并未得到理想的效果。

3) 氧化法：为提高渣油的稠度，通常采用空气吹制的工艺，这种工艺得到的沥青称为“吹制沥青”（Blown asphalt），又称“氧化沥青”。沥青的氧化工艺，按其工艺特点不同，可分为釜式氧化法、塔式氧化法和管道氧化法等。目前多采用连续式氧化塔，其生产工艺大致

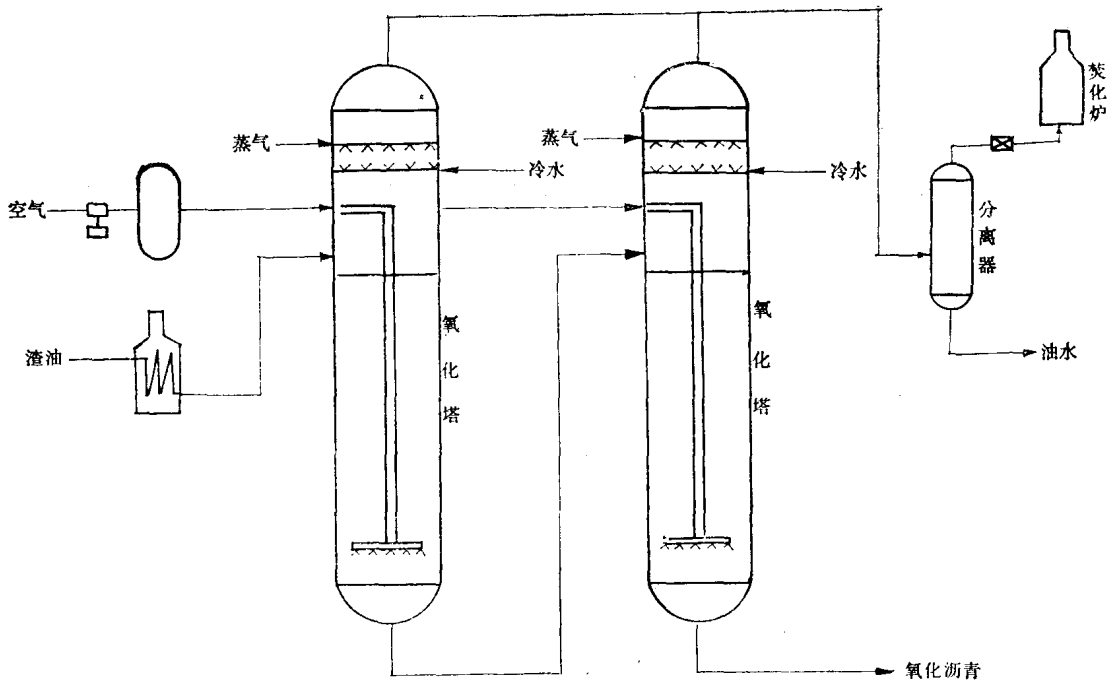


图 1-2 氧化法生产沥青工艺示意图

流程如图 1-2 所示。

氧化工艺的主要流程是先将常减压渣油预热脱水，然后加热至  $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$ ，最后再将热渣油用泵输入氧化塔。在塔中吹入一定量的空气，渣油在氧化塔中进行氧化。氧化大致经过氧化诱导、加速反应和反应迟滞 3 个阶段。渣油和空气中的氧接触时，需要经过一段时间才有显著的反应发生，这个阶段即为氧化诱导阶段。其主要特征是反应物软化点无多大变化，氧消耗量低。如果在反应物中加入一些过氧化物，可使氧化反应的诱导期缩短，提前进入加速反应阶段，使总的氧化时间缩短。在沥青原料中加入适量的三氯化铁、高锰酸钾、硫磺粉或松香等，都可使氧化诱导阶段时间缩短。若按一定比例向沥青原料中加入高温的液态成品——沥青，也能收到加速反应的效果。加速反应阶段是渣油生成沥青的主要过程。在这个阶段内剧烈地进行着氧化、聚合、缩合和脱氢反应，并释放出大量反应热，其主要特征是反应物软化点迅速上升，氧消耗量显著增加。当加速反应阶段结束后，便自动进入迟滞阶段。这个阶段的主要特征是氧的消耗量大大减少，沥青软化点上升很慢。

随着风量的增加，反应时间的延长，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是：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，而蜡的含量几乎变化很少。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。

对低硫石蜡基原油的渣油，经过氧化后，虽然化学组分含量中沥青质的增加，可以使稠度增高（即粘度增大、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，而且含蜡量仍然很高，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，增加粘附性，而不能改善延度的原因。



4) 溶剂法：为从渣油中得到高级润滑油的原料，目前在炼制工艺上多采用溶剂脱沥青方法。用这种方法(图 1-3)得到的沥青，称为溶剂沥青。目前最常采用的脱沥青溶剂为丙烷，用丙烷为溶剂所得到的沥青称丙烷脱沥青(Propane de-asphalt 简称 PDA)。用丙烷脱沥青的工艺(简称丙脱)得到的脱沥青油，稠度仍然很稀，故称为丙烷渣油。这种渣油由于含蜡量较低，其技术性质可较一般渣油好，但是仍然不能完全满足路用性能的要求。为此，现代新工艺是采用混合溶剂(如丙-丁烷)和多段工艺(如二段法或三段法)，这样既可以保证润滑油原料的质量，又可以生产出优质的路用沥青。目前新型的溶剂脱沥青装置，不仅可从渣油中获得质量优良的脱沥青油，而且可以将沥青中的沥青质、胶质、芳香分和饱和分等组分分离出，然后按照要求的比例，再重组配成所需要的优质路用沥青，即所谓人造沥青。根据人造沥青的原理，应用调节化学组分的方法，即使采用低硫石蜡基原油的渣油，亦可获得兼具高温稳定性和低温抗裂性较好的溶剂沥青。

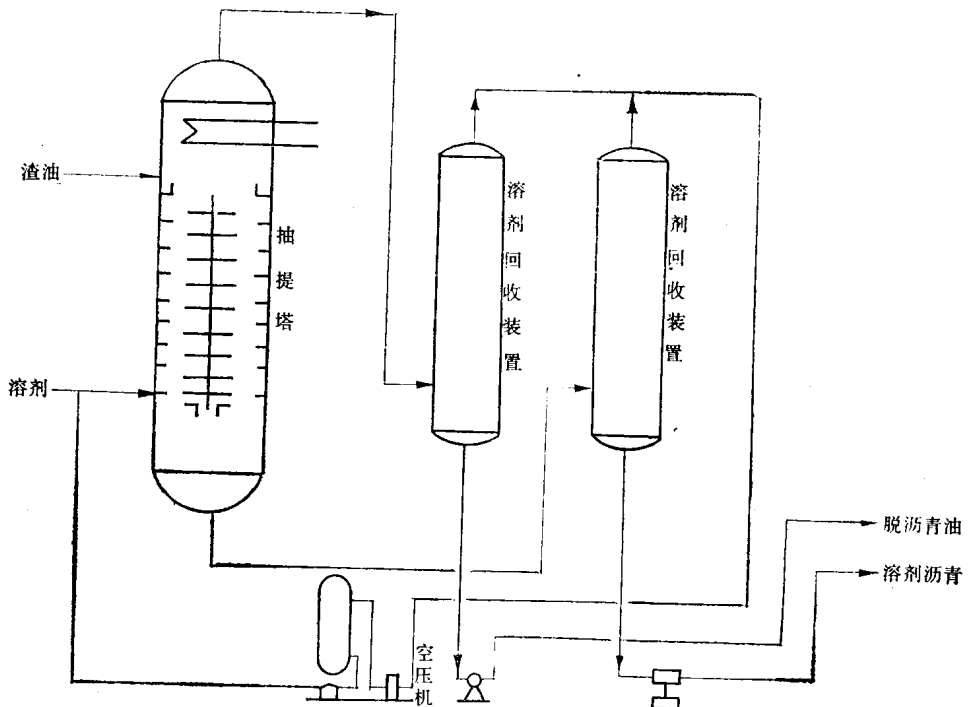


图 1-3 溶剂法生产沥青工艺流程示意图

## 1-2 沥青材料的组成和结构

### 一、沥青材料的元素组成

沥青是由多种复杂的碳氢化合物及其氧、硫和氮的衍生物所组成的混合物，其主要组成元素为碳、氢、氧、硫和氮等 5 种元素。通常石油沥青的碳含量为 80%~87%，氢为 10%~15%，氧、硫和氮的含量少于 3%。

煤沥青也是由碳、氢、氧、硫和氮等 5 种元素所组成。由于它的高度缩聚、芳香度高和短侧链的特点，其碳氢比要比石油沥青大得多，石油沥青和煤沥青的元素大致组成比较如表 1-1。