

# 沥青混合料

## 设计手册

吕伟民 孙大权 编著

# Asphalt Mixtures Design Manual



人民交通出版社

China Communications Press



# 沥青混合料 设计手册

*Liqing Hunheliao Sheji Shouce*

吕伟民 孙大权 编著

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为沥青混合料设计方面的实用工具书。全书共计十八章,内容依据现行规范并结合国内外研究与应用,详细介绍了沥青的材料特性及混合料设计;重点突出了各种新型沥青混合料的用途、性能特点、设计方法、技术指标,必要时还附以实例说明。

本书可作为本行业科研、设计、施工等相关人员的工具用书,也可供有关院校的师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

沥青混合料设计手册/吕伟民,孙大权编著. —北京:  
人民交通出版社,2007.4  
ISBN 978-7-114-06449-4

I. 沥… II. ①吕…②孙… III. 沥青拌和料—设计—手册 IV. U414.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 034939 号

书 名: 沥青混合料设计手册

著 作 者: 吕伟民 孙大权

责任编辑: 赵 蓬 丁润铎

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 21.5

字 数: 536 千

版 次: 2007 年 5 月 第 1 版

印 次: 2007 年 5 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06449-4

印 数: 0001~3000 册

定 价: 48.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 前 言

我国国民经济的持续增长,促进了道路交通事业的迅速发展。我国高速公路从无到有,经过 20 多年的建设已经累计里程达 4.5 万多公里,预计到 2020 年将达到 8 万多公里。由于沥青路面具有行车平稳、舒适、噪声低、维修方便、路面材料易于再生利用等优点,所以在高等级道路中广为应用。随着交通流量的不断增加,车辆轴载的增大,不仅沥青路面结构开始发生新的变化,而且要求沥青路面材料具有更好的抗车辙、抗滑、耐疲劳等路用性能;跨越大江大河的大跨径桥梁建设,桥面铺装要求采用强度更高、柔韧性更好的铺面材料;为了延长沥青路面的使用寿命,各种路面养护材料和养护工艺也得到研究和开发。因此近几年来,在道路铺面领域涌现出多种新材料、新技术、新方法和新工艺,令人应接不暇。

作者于 2001 年曾为研究生写过《沥青混合料设计原理与方法》的教材,在该书的第三篇中介绍了若干不同类型、不同用途的沥青混合料,引起很多人的兴趣。本书在原教材的基础上重新进行了编写,对原书一些属于基本知识的内容进行了提炼,重点突出各种新型沥青混合料的论述,介绍这些混合料的用途、性能特点、国内外研究与应用概况、设计方法与技术指标,必要时还附以实例说明。沥青混合料设计并不是仅仅局限于混合料级配与沥青用量的确定。本书的目的是让读者了解各种沥青混合料发展的历史,并掌握如何选择原材料,经过适当的配合使形成的混合料能够满足作为道路、桥梁等结构物铺面应具备的性能。在了解沥青混合料设计基本原理的基础上,希望我国自行开发出性能更加优越的新材料、新工艺,以满足工程建设的需要。

本书在编写过程中,除学习和参阅了很多国内外研究成果外,其中还有许多内容是作者和学生们共同进行研究的成果,这些成果有的已经在工程中得到很好的应用。相信本书对广大工程技术人员能有所帮助。

限于作者水平,书中难免错误和不当之处,恳请读者指正。

吕伟民 孙大权

2007 年 1 月于同济大学

## 目 录

<b>第一章 沥青材料</b> .....	1
第一节 沥青材料的分类.....	1
第二节 沥青的组成和结构.....	4
第三节 道路石油沥青的物理性质.....	6
第四节 道路沥青的技术指标与技术要求.....	9
第五节 沥青的黏滞性 .....	16
第六节 沥青的感温性 .....	18
第七节 沥青的黏附性 .....	22
第八节 沥青的耐久性 .....	25
第九节 沥青的流变性质 .....	26
第十节 沥青的劲度模量 .....	30
第十一节 沥青劲度模量的现代测试方法 .....	32
第十二节 基本流变模型及其本构方程 .....	35
第十三节 改性沥青 .....	38
<b>第二章 沥青混合料组成结构</b> .....	44
第一节 沥青混合料的类型 .....	44
第二节 混合料级配理论 .....	48
第三节 沥青混合料的强度理论 .....	53
第四节 沥青混合料的路用性能 .....	56
第五节 沥青混合料性能评价方法 .....	57
<b>第三章 热拌沥青混合料设计</b> .....	71
第一节 集料的性质 .....	71
第二节 集料级配 .....	79
第三节 确定沥青用量 .....	82
第四节 矿料间隙率的调整 .....	90
第五节 沥青混合料性能检验 .....	91
第六节 生产配合比设计 .....	94
第七节 热拌沥青混合料设计实例 .....	95
<b>第四章 Superpave 沥青混合料设计方法</b> .....	102
第一节 概述.....	102
第二节 Superpave 沥青混合料设计方法 .....	103
第三节 Superpave-13 沥青混合料设计实例.....	110
第四节 Superpave 沥青混合料设计方法评述 .....	114

<b>第五章 沥青玛蹄脂碎石(SMA)混合料设计</b>	118
第一节 概述	118
第二节 材料	120
第三节 玛蹄脂的配合比与技术要求	128
第四节 SMA 混合料级配	131
第五节 SMA 混合料的技术指标与要求	136
第六节 SMA 混合料设计实例	142
<b>第六章 排水性沥青混合料设计</b>	150
第一节 概述	150
第二节 材料	153
第三节 集料级配	157
第四节 结合料用量的确定	159
第五节 设计实例	163
第六节 排水性路面的降噪性能	166
<b>第七章 机场道面沥青混合料设计</b>	170
第一节 概述	170
第二节 材料	172
第三节 混合料配合比设计	175
<b>第八章 乳化沥青碎石混合料设计</b>	181
第一节 概述	181
第二节 乳化沥青的制备	182
第三节 乳化沥青混合料配合比设计	188
第四节 设计实例	190
<b>第九章 大粒径热拌沥青混合料设计</b>	193
第一节 概述	193
第二节 大粒径沥青混合料设计	195
第三节 应用实例	199
<b>第十章 稀浆封层(微表处)混合料设计</b>	201
第一节 概述	201
第二节 稀浆封层的结构类型	202
第三节 沥青稀浆混合料配合设计	203
<b>第十一章 环氧沥青混凝土设计</b>	208
第一节 概述	208
第二节 环氧树脂的种类与性质	210
第三节 环氧树脂与沥青的相容性	211
第四节 固化剂的性质与选择	213
第五节 环氧沥青混凝土的配制	215
<b>第十二章 浇注式沥青混合料设计</b>	218
第一节 浇注式沥青混合料的发展及应用	218
第二节 原材料及其技术要求	221

第三节	浇注式沥青混凝土性能测试方法与技术要求	224
第四节	浇注式沥青混合料设计方法与实例	227
<b>第十三章</b>	<b>再生沥青混合料设计</b>	<b>231</b>
第一节	概述	231
第二节	沥青再生原理与方法	232
第三节	再生剂的作用及其技术标准	233
第四节	热拌再生混合料配合设计	236
第五节	冷法再生分类与应用	242
第六节	乳化沥青再生混合料配合设计	248
第七节	乳化沥青再生混合料性能评价	258
第八节	泡沫沥青再生混合料配合设计	262
<b>第十四章</b>	<b>储存式冷铺沥青混合料设计</b>	<b>274</b>
第一节	概述	274
第二节	结合料的性能与技术要求	274
第三节	混合料配合设计与控制指标	276
<b>第十五章</b>	<b>彩色沥青混合料设计</b>	<b>280</b>
第一节	彩色沥青路面应用现状和发展	280
第二节	热拌彩色沥青混合料原材料技术要求	283
第三节	彩色沥青混合料色彩影响因素	286
第四节	彩色沥青混合料配合比设计	290
第五节	彩色沥青混合料设计实例	291
第六节	彩色路面新工艺	296
<b>第十六章</b>	<b>废旧橡胶沥青混合料设计</b>	<b>298</b>
第一节	概述	298
第二节	橡胶粉与沥青相互作用机理	301
第三节	橡胶沥青生产工艺	303
第四节	橡胶沥青技术标准	305
第五节	湿法橡胶沥青混合料设计方法	307
第六节	干法橡胶沥青混合料设计方法	308
第七节	橡胶路面的声振特性与降噪机理	311
<b>第十七章</b>	<b>超薄沥青磨耗层混合料设计</b>	<b>316</b>
第一节	概述	316
第二节	超薄沥青混合料组成设计方法	318
第三节	超薄沥青混合料设计指标体系	323
<b>第十八章</b>	<b>温拌沥青混合料简介</b>	<b>326</b>
第一节	概述	326
第二节	温拌沥青混合料的节能环保功能	326
第三节	温拌沥青混合料设计方法及其路用性能	328
附录		333
参考文献		334

# 第一章 沥青材料

沥青是暗褐色至黑色可溶于苯或者二硫化碳等溶剂的固体、半固体或黏稠状物质,主要由高分子碳氢化合物及其非金属衍生物组成的混合物。人类应用沥青已有 5 000 多年的历史,最早的记载是苏美尔人在公元前 3800 年左右就开始应用天然沥青作为防水材料。现在作为重要的有机结合料,沥青被广泛应用于道路建设、防水工程、水力工程、防腐工程等国民经济各个领域。

## 第一节 沥青材料的分类

沥青材料的品种很多,按照沥青材料的来源、加工方法、用途、形态等分为许多种类。

### 一、按沥青的来源分类

按照沥青材料获得的方式,可分为天然沥青、石油沥青和焦油沥青三大类。

#### 1. 天然沥青

地壳中的石油在各种因素作用下,其轻质油分蒸发,经浓缩与氧化作用形成的沥青类物质,称为天然沥青(Native asphalt)。人们熟知的湖沥青(Lake asphalt)就是天然沥青的一种。其中,产地在中美洲的委内瑞拉北海岸附近的特立尼达岛上的特立尼达湖沥青是比较著名的天然沥青,它是 1595 年由沃尔特·雷利发现的。

存在岩石缝隙的天然沥青称为岩沥青(Rock asphalt)。岩沥青中含有许多砂和岩石,经水熬制可得到纯净的沥青。位于美国北部的犹他州东部的 Uintah 盆地出产的 UINTAITE 岩沥青,是近年来令人瞩目的代表性品种。近年,我国四川、新疆克拉玛依等地出产有天然岩沥青。

位于印度尼西亚布顿岛(Buton)有一种名为 BMA 的海底沥青矿,这是一种经过千百万年沉积形成的天然矿物,称之海底沥青。

#### 2. 石油沥青

由地壳中的原油,经开采加工的沥青为石油沥青。这种沥青产量是最大的,应用也最为广泛。

#### 3. 焦油沥青

煤、木材、页岩等有机物质经碳化作用或在真空中分馏得到的黏性液体,称为焦油沥青。由煤加工所得的焦油称为煤焦油。由木材蒸馏而得到的焦油为木焦油,松节油就是典型的木焦油。页岩经过蒸馏得到的焦油为页岩沥青。

### 二、按石油加工的方法分类

在炼油厂有不同的石油炼制方法,由于加工工艺的不同所得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. 蒸馏沥青

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。蒸馏法制取石油沥青是最简单、最经济的方法。原油脱水后加热至 $360^{\circ}\text{C}$ ,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 $390^{\circ}\text{C}$ ,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。

直馏沥青的性质与原油的来源有很大关系。一般来说,环烷基原油和蜡分含量较低的中间基原油适合生产道路沥青。所生产的道路沥青具有延度高,与碎石黏附性好,高温稳定性好,不易出现车辙与拥包,耐老化性能较好等优点。

### 2. 氧化沥青

将低标号的沥青或渣油在 $240^{\circ}\text{C}\sim 290^{\circ}\text{C}$ 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)。

低标号沥青或渣油连续按一定的流速通入氧化塔。氧化塔为中空圆筒,里面装有栅板,以减少返混。空气由底部分批量通入,在一定温度下,渣油中的芳烃、胶质和沥青质与空气中的氧发生氧化反应,组成发生变化。氧化反应的结果使沥青增稠,温度敏感性降低,针入度指数增大。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,有时就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. 溶剂沥青

溶剂法是利用溶剂对各组分有不同的溶解能力,可选择性地溶解其中一个或几个组分,这样就能实现组分的分离。与蒸馏法相比,所得产品在组成和性能上有明显差异。根据渣油中各组分不同的溶解能力,从渣油中分离出富含饱和烃和芳香烃的脱沥青油,即催化、裂化或加氢裂化的原料油。同时得到含胶质、沥青质高的浓缩物,将其加以调和、氧化,可生产出各种规格的沥青。

### 4. 调和沥青

用调和法生产沥青是按照沥青质量要求,将几种沥青调和,调整沥青组分之间的比例,以获得所要求的产品。优质沥青的组分大致比例为:饱和分 $13\%\sim 31\%$ ,芳香分 $32\%\sim 60\%$ ,胶质 $19\%\sim 39\%$ ,沥青质 $6\%\sim 15\%$ ,蜡含量小于 $3\%$ 。然而,调和沥青的性质与各组分的比例不是简单的加和,而是与形成的胶体结构类型有关。调和法生产沥青通常先生产出软、硬两种沥青组分,然后根据需要调和出符合要求的沥青。调和的关键在于配合比正确并混合均匀。

## 三、按原油的性质分类

石油按其含蜡量可分为石蜡基、中间基和环烷基原油,不同性质的原油所炼制的沥青性质有很大的差别。

### 1. 石蜡基沥青

石蜡基沥青中蜡的含量一般都大于 $5\%$ ,大庆原油所炼制的沥青是典型的石蜡基沥青,其含蜡量甚至达 $20\%$ 。

由于在常温下蜡常常以结晶析出存在于沥青的表面,使沥青失去黑色光泽。石蜡基沥青黏结性差,软化点虽高,但热稳性极差,温度稍高黏度就会很快降低。

## 2. 环烷基沥青

由环烷基石油加工所炼制沥青为环烷基沥青。这种沥青含有较多脂烷烃,蜡含量少,一般低于3%,且黏性好。优质的重交通道路沥青大都是环烷基沥青。

## 3. 中间基沥青

采用中间基原油炼制的沥青,其蜡的含量约为3%~5%。普通道路沥青大多属于这种沥青。

# 四、按沥青的形态分类

## 1. 黏稠沥青

沥青在常温下呈膏体状或固体状,故称之为膏体沥青。这是黏滞度比较高的沥青,所以一般称为黏稠沥青。由于这种沥青的标号通常用针入度表示,有时又称针入度级沥青。

## 2. 液体沥青

在常温下是液体或半流动状态的沥青为液体沥青。用溶剂将黏稠沥青加以稀释所得到的液体沥青,称为稀释沥青,也称为回配沥青(Cut back)。根据稀释沥青凝固的速度分为快凝、中凝和慢凝三种。将沥青加以乳化成为乳化沥青。乳化沥青是又一种形式的液体沥青,按照乳化沥青破乳速度的快慢分为快裂、中裂和慢裂三种。乳化沥青按其所用乳化剂的种类分为阳离子乳化沥青、阴离子乳化沥青和非离子乳化沥青。

# 五、按沥青的用途分类

## 1. 道路沥青

用于铺筑道路路面的沥青为道路沥青。过去由于国产优质道路沥青产量较少,修建高等级道路往往依赖进口沥青。在我国,将适于在重交通道路应用的沥青称之为重交通道路沥青(Heavy duty asphalt),而将相对性能较差的应用于一般中、轻交通道路的沥青称为中、轻交通道路沥青或普通道路沥青。但国际上并没有这样的划分,所有道路沥青都统称为道路沥青,新近颁布的规范是按沥青性能划分成不同等级。道路建设要消耗大量沥青,几乎占整个沥青产量的50%~60%。

## 2. 建筑沥青

建筑业用的石油沥青主要用于防水、防潮,也用于制造防水材料,如油毛毡、沥青油膏等。建筑沥青要求具有良好的黏结性和防水性,在高温下不流淌,低温下不脆裂,并要求有良好的耐久性。建筑沥青标号较高,针入度为5~40(0.1mm)范围内。

## 3. 机场沥青

适于铺筑机场跑道道面的沥青材料,由于机场道面承受飞机荷载,要求沥青有良好的黏结性和耐久性。机场道面沥青的名称已经在我国《民用机场沥青混凝土道面设计规范》中提出。

## 4. 其他沥青

沥青在许多领域有着广泛的应用。根据用途的不同,沥青又有很多种类。例如,在水利工程中应用的沥青,称之为水工沥青。根据有关方面的统计,全世界有200多个大型水工结构物应用沥青。英国的邓岗内尔水坝、库利福水坝,以及我国浙江安吉县天荒坪水库等都采用沥青混凝土做面板防渗。沥青还用于动力电缆和通讯电缆的防潮和防腐,这种沥青称为电缆沥青;用于输油、输气、供水等金属管线以防止锈蚀的沥青,称为防腐沥青;用于加工油漆和烘漆的沥青为油漆沥青等。

## 第二节 沥青的组成和结构

### 一、沥青的元素组成

沥青不是单一的物质,而是由多种化合物组成的混合物,成分极其复杂。但从化学元素分析,其主要由碳(C)、氢(H)两种化学元素所组成,故又称为碳氢化合物。此外,沥青中还含有少量的硫(S)、氮(N)、氧(O)以及一些金属元素,如钠、镍、铁、镁和钙等,它们以无机盐或氧化物的形式存在。

沥青的成分随原油的来源不同而不同。同时,沥青在炼制过程中组分也会发生变化。C/H的比例在很大程度上反映沥青的化学成分,其值愈大,表明沥青的环状结构尤其是芳香环结构愈多。在沥青中,碳和氢的含量约占98%~99%,其中碳的含量83%~87%,氢11%~14%。

### 二、沥青的组分

由于沥青的组成极其复杂,并且存在有机化合物的同分异构现象,许多沥青的化学元素组成即使十分相似,它们的性质也往往有很大差别。然而,沥青化学元素的含量与沥青性能之间尚不能建立起直接的相关关系。

人们在研究沥青化学组成的同时,利用沥青对不同溶剂的溶合性,将沥青分离成几个化学成分和物理性质相似的部分,这些部分称为沥青的组分。沥青中各组分的含量和性质对沥青的黏滞性、感温性、黏附性等化学性质有直接的联系。根据试验方法的不同,沥青可以分离成以下不同的几种组分。

#### 1. 二组分

沥青分为沥青质和可溶质(软沥青质)两种组分。

#### 2. 三组分

沥青分为沥青质、油分和树脂三种组分。

#### 3. 四组分

沥青分为沥青质、饱和分、芳香分和胶质四种组分,它们在形态、等方面各有不同的特性。

##### (1) 沥青质

沥青质是深褐色至黑色无定形物质,有的文献中又称之为沥青烯。沥青质相对密度大于1,不溶于乙醇、石油醚,易溶于苯、氯仿、四氯化碳等溶剂。沥青质是复杂的芳香分物质,具有很强的极性,分子量约为1 000~10 000,颗粒的粒径为5~30nm, H/C原子比例约为1.16~1.28。

沥青质在沥青中的含量一般为5%~25%,其含量对沥青的流变特性有很大的影响。我国有些沥青,如大庆沥青、克拉玛依沥青、任丘沥青中的沥青质含量很低,几乎在1%以下。

沥青质对沥青中的油分虽有憎液性,但对胶质呈亲液性。因此,沥青是胶质包裹沥青质而成胶团悬浮在油分之中,形成胶体溶液。这样,沥青质含量对胶体体系的性质有很大的影响。

当沥青中的沥青质含量增加时,沥青稠度提高,软化点上升。日本饭岛博通过对20余种沥青的研究发现沥青的软化点 $T_{R\&B}$ 与各组分含量之间成如下关系:

$$T_{R\&B} = 1.19X - 0.671Y - 0.682Z - 0.00838W + 83.6 \quad (1-1)$$

式中, X、Y、Z、W 分别为沥青质、胶质、芳香分和饱和分的含量。该式与实际测试的误差不超过 3℃。

沥青质的存在,对沥青的黏度、黏结力、温度稳定性都有很大影响。所以,优质沥青必须含有一定数量的沥青质。但克拉玛依沥青却是例外,虽然它的沥青质含量很低,然而其路用性能却仍然十分优良。

### (2) 胶质

胶质也称为树脂或极性芳烃,是半固体或液体状的黄色至褐色的黏稠状物质,有很强的极性。这一突出的特性使胶质有很好的黏结力。胶质相对密度为 1.0~1.08,分子量为 600~1000,在沥青中含量约为 15%~30%。胶质溶于石油醚、汽油、苯等有机溶剂。

胶质是沥青的扩散剂或胶溶剂,胶质与沥青质的比例在一定程度上决定沥青是溶胶或是凝胶的特性,胶质的 H/C 原子比为 1.30~1.47。胶质赋予沥青以可塑性、流动性和黏结性,对沥青的延性、黏结力有很大的影响。

### (3) 芳香分

芳香分是沥青中最低分子量的环烷芳香化合物组成的,它是胶溶沥青质的分散介质。芳香分在沥青中占 40%~65%,是深棕色的黏稠液体, H/C 原子比为 1.56~1.67,平均分子量为 300~600。

### (4) 饱和分

饱和分是由直链烃和支链烃所组成的,是一种非极性稠状油类, H/C 原子比约为 2,平均分子量为 300~600,饱和分在沥青中占 5%~20%。饱和分对温度较为敏感。

芳香分和饱和分都作为油分,在沥青中起着润滑和柔软作用。油分含量愈多,沥青的软化点愈低,针入度愈大,稠度降低。

沥青中油分经丁酮一苯脱蜡,在 -20℃ 冷冻会分离出固态的烷烃,即为蜡。蜡的化学组成以纯正构烷烃或熔点接近纯正构烷烃的其他烃类为主。蜡有石蜡和地蜡之分,地蜡是微晶蜡,沥青中的蜡主要是地蜡。在常温下,蜡都以固体形式存在,蜡对沥青的性能有一定影响。

在沥青中,蜡主要溶解在油分中。蜡在液体状态时,黏结较低,仅为 0.01~0.03Pa·s,这将降低分散相(油分)的黏度;当蜡以结晶状态存在时,则会使沥青具有屈服应力的结构,如果以松散粒子存在,就类似于沥青中加入矿粉而使沥青的黏度增加。沥青中蜡含量增加,会使沥青在常温下的黏度增大,而当接近石蜡熔化温度(50℃)时,蜡含量增加,反而使沥青的黏度降低。因此,蜡含量高的沥青温度敏感性强。

低温下,高含蜡量沥青的结晶结构网增加了沥青的刚性,表现出较高的弹性和黏性。随着蜡含量的增加,沥青的脆性也增大。当沥青与石料接触时,蜡的存在会降低沥青对石料界面的黏附。同时,蜡集中在沥青的表面使沥青失去光泽,并影响沥青路面的摩阻性能。蜡的结晶网格会促使沥青向凝胶型胶体结构发展,但胶体系统不稳定而具有明显的触变性。

### 4. 五组分

按罗斯特勒提出的分离法,沥青可分为沥青质、氨基、第一酸性分、第二酸性分和链烷分五种组分。

### 三、沥青的胶体结构

现代胶体理论研究发现,由于沥青的苯溶液具有丁铎尔现象,证明沥青溶液也是一种胶体溶液。用超级显微镜对沥青溶液进行观察,认为沥青质是分散相,而油分是分散介质,但沥青质与油分不亲和,而且沥青质与油分两种组分混合不能形成稳定的体系,沥青质极易发生絮凝。

胶质对沥青质是亲和的,胶质对油分也是亲和的,胶质包裹沥青质形成胶团,分散在油分中,形成稳定的胶体。可以认为,在胶团结构中,从核心到油分是均匀的,逐步递变的,并无明显的分界层。

沥青各个组分的数量及胶体芳香化的程度,决定了胶体的结构类型。

当油分和胶质足够多时,沥青质形成的胶团全部分散,胶团能在分散介质的黏度许可范围内自由运动。这种沥青称为溶胶型沥青。其特点是胶体结构中的沥青质较少,芳香树脂较多,因此具有良好的黏结性,但温度敏感性较强。

当油分与树脂很少时,胶团浓度相对增加相互之间靠拢较近,胶团会形成不规则的骨架结构,胶团移动比较困难。这种沥青称为凝胶型沥青。其特点是弹性好,温度稳定性好,而且具有触变现象。但如果沥青中含有较多的芳香树脂,即使沥青质含量大,胶团的吸引力也小,也不能形成凝胶型结构。

介于这两者之间的沥青就称为溶凝胶型沥青。这种沥青比溶胶型沥青稳定,黏结性和感温性都较好。

一般来说,直馏沥青多为溶胶型,氧化沥青多为凝胶型或溶凝胶型。

从化学角度分析沥青的胶体结构是困难的,但是根据胶体的流变性质来评判则方便得多。按沥青的针入度指数 PI 值可分为以下三种胶体结构:

$PI < -2$	为溶胶型结构;
$PI = -2 \sim +2$	为溶凝胶型结构;
$PI > +2$	为凝胶型结构。

有些学者认为,采用溶液的胶体理论尚不能很好地解释沥青的各种现象,而应采用高分子溶液理论进行研究。若将沥青作为高分子溶液看待,即可以认为沥青是以沥青质为分散相,软沥青质(油分+胶质)为分散介质,两者亲和而形成分子溶液。这种高分子溶液的特点是对电解质稳定性较大,而且是可逆的。也就是说,在沥青高分子溶液中,加入电解质并不能破坏沥青的结构。当软沥青质减少,沥青质增加时,为浓溶液即凝胶型沥青;反之,沥青质较少,软沥青质含量较多,为稀溶液。溶凝胶型沥青则介于两者之间。

## 第三节 道路石油沥青的物理性质

### 一、密度

沥青的密度是沥青在规定温度(15℃)下单位体积的质量,以  $g/cm^3$  或  $t/m^3$  计。密度是沥青的基本参数,在沥青储运和沥青混合料设计时都要用到这一参数。有时沥青的密度也用相对密度表示,它是在规定温度下沥青的密度与水密度的比值。

沥青的密度一般在  $1.00g/cm^3$  左右,但是由于沥青的化学成分不同,其密度又有所差别。

许多研究表明,沥青的密度大体有以下规律:

- (1) 沥青密度与其芳香族含量有关,芳香族含量越高,沥青密度越小;
- (2) 沥青密度与各组分之间的比例有关,沥青质含量越高,其密度越大;
- (3) 沥青密度与含蜡量有关,由于蜡的密度较低,故含蜡量高的沥青其密度也低;
- (4) 沥青中硫的含量对其密度有一定影响,硫的含量增加,沥青的密度随之增大。

此外,沥青的密度还与其稠度有关,稠度高的沥青密度也大。直馏沥青针入度在 40~100 (0.1mm) 范围内,其密度基本上都在  $1.025 \sim 1.035 \text{g/cm}^3$  之间。密度与沥青各组分之间有良好的相关性,日本沥青协会得到如下关系式:

$$d = 1.06 + 8.5 \times 10^{-4} \text{Ast} - 7.2 \times 10^{-4} \text{Re} - 8.7 \times 10^{-5} \text{Ar} - 1.6 \times 10^{-3} \text{Sa} \quad (1-2)$$

式中:  $d$ ——沥青的密度;

Ast、Re、Ar、Sa——分别为沥青的沥青质、胶质、芳香分和饱和分的百分数。

该式的相关系数为 0.89。

由上述可见,沥青的密度与其化学组成有密切关系。一般密度大的沥青其性能比较好,实质上是沥青中的沥青质含量比较高,饱和分含量较低的缘故。而这些沥青都是由环烷基原油炼制的,一些进口沥青和国产的优质沥青都属于此。而用中间基原油和石蜡基原油炼制的沥青,则大多沥青质含量低,蜡含量高,故不仅密度低,而且性能也差。当然,由于沥青化学组成的复杂性,其密度与路用性能之间并不存在绝对的相关性。正如前所述,新疆克拉玛依所产的沥青,其密度就小于  $1.00 \text{g/cm}^3$ ,但其路用性能却很好。

## 二、热胀系数

沥青材料在温度升高时,体积将发生膨胀。温度上升  $1^\circ\text{C}$ , 沥青单位体积或单位长度几何尺寸的增大称之为体膨胀系数或线膨胀系数。

壳牌石油公司的研究资料认为,沥青的体膨胀系数与其稠度无关,在  $15^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$  范围内固定不变,为  $6.1 \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$ 。事实上,沥青的体膨胀系数并非常数,而是随不同品种有所变化,大体在  $(2 \sim 6) \times 10^{-4} \text{K}^{-1}$  范围内波动。沥青的体膨胀系数对沥青路面的路用性能有密切关系,体膨胀系数越大,则夏季沥青路面越容易产生泛油,而冬季又容易出现收缩开裂。

沥青的体膨胀系数可以通过测定不同温度下的密度按式(1-3)求得:

$$\alpha = \frac{d_{T_2} - d_{T_1}}{d_{T_1}(T_1 - T_2)} \quad (1-3)$$

式中: $\alpha$ ——沥青的体膨胀系数,  $\text{K}^{-1}$ ;

$d_{T_1}$ 、 $d_{T_2}$ ——分别为高温和低温下沥青的密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$T_1$ 、 $T_2$ ——温度,  $^\circ\text{C}$ 。

研究表明,沥青的体膨胀系数约为线膨胀系数的 3 倍。所以,有了沥青的体膨胀系数,就不难求得沥青的线膨胀系数。

## 三、表面张力

表面张力指液体与空气之间的力。沥青的表面张力与温度等因素有关,其对于研究沥青与石料的黏附性具有重要意义。

各种液体的表面张力可采用毛细管法或滴重法测定。由于沥青的黏度大,在室温下无法测试,而必须在较高的温度(如 100℃以上)下测定。沥青的表面张力随温度上升而减小,两者之间有良好的线性关系。因此,当测得高温下沥青的表面张力时,可以通过延长关系线求得常温下的表面张力。

对于氧化沥青而言,可采用式(1-4)计算沥青-空气的表面张力:

$$\sigma = 25 + 0.187(T_{R\&B} - 70) - (10^{-7} T_{R\&B}^4 + 0.25)(T - 100) \times 10^{-2} \quad (1-4)$$

式中: $\sigma$ ——氧化沥青的表面张力,  $10^{-3}$  N/m;

$T_{R\&B}$ ——沥青的软化点,℃;

$T$ ——测定表面张力时的温度,℃。

一般认为,沥青-水的界面张力为  $(25 \sim 40) \times 10^{-3}$  N/m。如在沥青或水中加入磺酸盐或含  $-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$  基之类的化合物,界面张力可下降至  $5 \times 10^{-3}$  N/m。

#### 四、介电常数

沥青的介电常数是沥青的电性质,其值按式(1-5)确定:

$$\epsilon = C_m / C_0 \quad (1-5)$$

式中: $\epsilon$ ——沥青的介电常数;

$C_m$ ——沥青作为介质时电容器的电容;

$C_0$ ——电容器介质为真空时的电容。

英国运输与道路研究所(TRRL)研究认为,沥青在阳光的紫外线、氧气、雨水和车辆油滴的影响下,其耐候性与沥青的介电常数有关。同时认为,路面的抗滑性也与沥青的介电常数有关,从这一要求出发,沥青的介电常数应大于 2.650。

根据物质的介电常数可以判别高分子材料的极性大小。通常,介电常数大于 3.6 为极性物质;介电常数介于 2.8~3.6 为弱极性物质;介电常数小于 2.8 为非极性物质。沥青材料的介电常数一般为 2.6~3.0,但与温度有一定关系,随着温度的升高,介电常数增大,25℃时为 2.7,在 100℃时增大为 3.0,故沥青属于非极性或弱极性材料。在配制改性沥青时,根据沥青和聚合物改性剂的介电常数可以判断两者是否相容。例如,配制环氧沥青,双酚 A 环氧树脂的介电常数为 3.9,属于极性材料,而沥青是非极性或弱极性材料,两者不相容。因此,要解决环氧树脂与沥青的相容性,必须采取添加中间介质的方法。

#### 五、沥青的比热容

沥青的比热容与它的稠度与温度有关。在 0℃时,沥青的比热容约为  $(1.675 \sim 1.8) \times 10^{-3}$  J/(kg·K)。沥青温度每升高 1℃,其比热容将增加  $(1.675 \sim 2.512) \times 10^{-6}$  J/(kg·K)。

#### 六、沥青的导热系数

沥青的导热系数是表示在温度平衡过程中热传导的速率。它与沥青的导热性成正比,而与沥青的比热容、密度成反比。不同的沥青,其导热系数有所差别,一般在  $0.035 \sim 0.174$  W/(m·K) 范围内。

## 第四节 道路沥青的技术指标与技术要求

沥青材料作为路用胶结料已经有上百年的历史。在长期的使用过程中,人们拟定了一套检验和评价沥青性能的技术指标,并且纳入了许多国家的技术规范中。虽然各国规范的指标有所不同,但大同小异。这些指标主要有针入度、软化点、延度、闪点、溶解度、薄膜烘箱试验(针入度比、质量损失、延度)、含蜡量、相对密度等。这些指标与沥青的实际路用性能没有直接联系,人们需要根据经验来判断沥青材料的性能。由于主要是按针入度将沥青分级的,故这些指标又称其为针入度分级指标。

针入度分级有许多局限性,在 25℃ 温度下,针入度相同的两种沥青,其黏度往往会有很大的差别。而黏度是表征沥青黏结性能的重要指标,它反映沥青在中温和高温下的力学性质,比针入度指标进了一步,所以有些国家用黏度指标对沥青进行分级。

1987 年美国国会通过了一项重大公路科研项目,即公路战略研究计划(Strategic highway research program, SHRP),其中耗资 5 000 万美元用于沥青和沥青混合料的研究,目的在于建立沥青的技术指标与野外路面性能的关系。该研究历时 5 年,最终提出了以沥青性能为依据的沥青规范,也就是性能分级沥青结合料规范。

### 一、沥青针入度分级技术指标

#### 1. 针入度分级技术指标

##### (1) 针入度

针入度是在规定温度、附加荷重和一定作用时间的条件下,以标准针贯入沥青中的深度,以 0.1mm 表示。通常如不特别说明,则测试温度为 25℃,附加荷重为 100g±0.1g,贯入时间为 5s。但有时也可以变化温度、荷重或贯入时间。

针入度用以划分沥青的标号。针入度越小,表示沥青的稠度越大;反之,则越小。

##### (2) 软化点

沥青是非晶体物质,无确定的熔点。软化点是沥青在规定尺寸的铜环内,其上放置一规定质量(3.5g±0.05g)的钢球,以 5℃/min 的升温速度加热,沥青软化,钢球从沥青试样中沉落到规定的距离的底板时的温度,以℃表示。

软化点实质上反映的是沥青的黏度,与沥青的标号有关,是一种条件黏度,即在等黏度条件下以温度表示的黏度。软化点还可反映沥青的温度敏感度,一般认为软化点高,其等黏温度也高,则温度稳定性好,或者说热稳定性好。

##### (3) 延度

延度是沥青在一定温度下,按一定速度拉伸至沥青断裂时的长度,以 cm 计。通常试验温度为 25℃、15℃,拉伸速度为 5cm/min。

延度主要反映沥青的柔韧性,延度越大,沥青的柔韧性越好。如低温下延度大,则沥青的抗裂性好。沥青延度与其黏度和组分有密切关系。一般来说,延度大的沥青含蜡量低,黏结性和耐久性都好;反之,含蜡量大,延度小,黏结性和耐久性也差。因此,延度是表征沥青性质的重要指标。

##### (4) 溶解度

沥青在溶剂中的溶解度表明沥青的有效成分。通常采用的溶剂有三氯乙烯、二甲苯等。



表 1-1

道路石油沥青技术要求

指标	单位	等级	沥青标号												试验方法 <sup>①</sup>					
			160号 <sup>④</sup>	130号 <sup>④</sup>	110号	90号			70号 <sup>③</sup>			50号 <sup>③</sup>	30号 <sup>④</sup>							
针入度(25℃, 5s, 100g)	0.1mm		140~200	120~140	100~120	80~100						60~80			40~60	20~40	T 0604			
适用的气候分区 <sup>⑥</sup>			注 <sup>④</sup>	注 <sup>④</sup>	2-1	2-2	3-2	1-1	1-2	1-3	2-2	2-3	1-3	1-4	2-2	2-3	2-4	1-4	注 <sup>⑤</sup>	注 <sup>⑥</sup>
针入度指数PI <sup>②</sup>		A	-1.5~+1.0												T 0604					
		B	-1.8~+1.0																	
软化点 $T_{R&B}$ , 不小于	℃	A	38	40	43	45	44	44	46	45	45	45	46	45	45	49	55			
		B	36	39	42	43	42	42	44	43	43	43	44	43	43	46	53			T 0606
		C	35	37	41	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43	45	50			
60℃动力黏度 <sup>②</sup> , 不小于	Pa·s	A	—	60	120	160	140	140	180	160	160	160	160	160	200	260			T 0620	
10℃延度 <sup>②</sup> , 不小于	cm	A	50	50	40	45	30	20	45	30	20	30	20	20	15	20	15	15	10	
		B	30	30	30	30	20	15	20	15	10	20	15	10	10	10	8			T 0605
15℃延度, 不小于	cm	A、B	100												80		50			
		C	80	80	60	50	40	40	40	40	40	40	40	40	30	20				
		A	2.2												20					
蜡含量(蒸馏法), 不大于	%	B	3.0												3.0				T 0615	
		C	4.5												4.5					
		A	2.2												2.2					