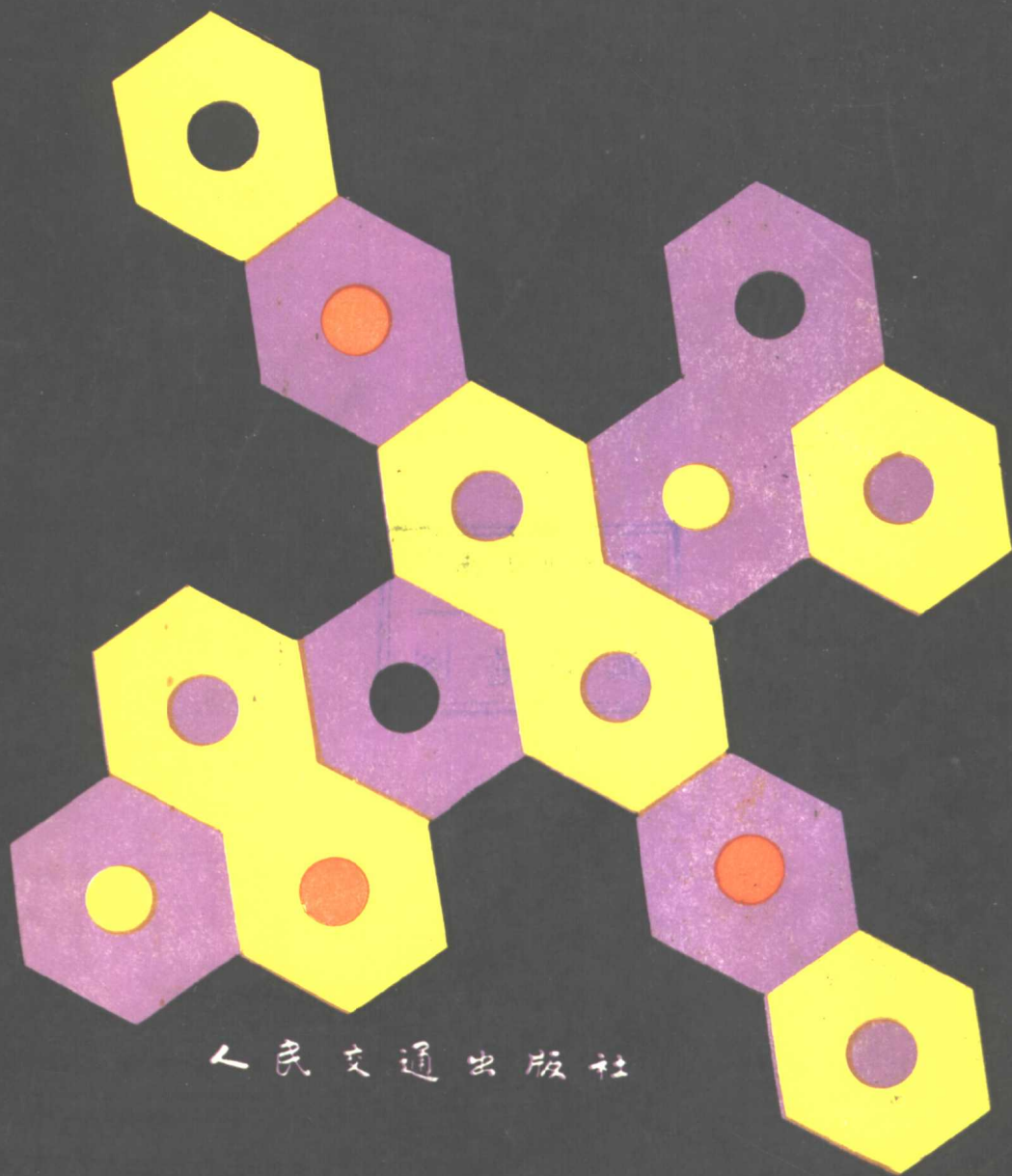


沥青材料性能学

● 严家伋 编著



384

人民交通出版社

沥青材料性能学

Liqing Cailiao Xingnengxue

严家伋 编著

人民交通出版社

沥青材料性能学

严家伋 编著

正文设计 崔凤莲

责任校对 戴瑞萍

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：19 字数：464千

1990年6月 第1版

1990年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2000册 定价：3.75元

内 容 提 要

本书主要阐述了沥青材料的组成结构、技术性能、生产工艺和技术规格等内容。特别是对沥青材料的路用性能作了深入的讨论。同时对沥青材料的各种试验方法，也作了详细的介绍。

本书可作为公路与城市道路专业大学生或研究生选修课的参考教材，同时也可供公路、市政建设、建筑防水、水工防渗及石油炼制等专业工程技术人员业务培训或自学参考。

本书由张登良教授主审，经路桥专业教材编审委员会同意作为高等学校教学参考书出版。

前 言

沥青材料性能学是讲述沥青材料的组成结构、技术性能和生产应用以及它们之间的相互关系的一门课程。随着高等级沥青路面的发展，沥青材料研究的深入，沥青材料性能的理论研究和实践技术逐步成为一个完整的体系，这就使沥青材料性能学形成一门独立的课程。

本书是根据编者为道路工程专业研究生讲授《路面工程总论》中“沥青材料性能学”部分的讲义编写而成的，本书内容曾作为研究生教材使用过多次，并在北京、上海、廊坊和太原等地举办的公路、市政或建材专业技术人员的沥青材料研讨班上作为教材使用过。

本书注重理论和实践的结合，除详细地阐述了沥青材料组成结构、技术性能以及工艺对性能影响等的理论研究外，还系统地介绍了沥青材料组成和性能的测试技术，以供读者从事试验研究工作时应用。

本书在编写过程中，为介绍国内外在沥青材料性能与测试方面的技术成果，除采用本人的研究成果外，并转引了国内外有关的文献资料，现将主要参考文献列于书末。在此谨向文献资料的有关单位和作者表示谢意。

目前我国沥青材料技术术语尚无统一标准译名，本书所用译名基本参照《英汉道路工程词汇》和《道路与交通工程词典》。为方便读者学习英语，本书在有关沥青的技术术语第一次出现处，尽量加注英文，并在附录中列出本书涉及的沥青技术词汇英汉对照表。

本书初稿曾承西安公路学院张登良教授审阅，并提出宝贵的修改意见，谨此表示衷心的感谢。

本书前身讲义虽经多次试用，但这次成书之前又作了较大修改。编者虽力图反映沥青材料性能的现代理论和新近测试技术，但限于编者理论水平和教学经验，不妥之处在所难免，尚祈使用本教材的老师 and 同学提出宝贵意见。来函请寄上海同济大学道路与交通工程系道路材料教研室严家俊收，以便修改。

编 者

目 录

第一篇 沥青材料性能

绪 论	1
第一章 石油沥青	2
第一节 石油沥青的组成和结构	2
一、石油沥青的元素组成	2
二、石油沥青的化学组分	2
三、石油沥青的化学结构	17
四、石油沥青的胶体结构	30
第二节 石油沥青的技术性质	33
一、石油沥青的物理特征常数	33
二、石油沥青的粘结性	37
三、石油沥青的感温性	44
四、石油沥青的粘附性	50
五、石油沥青的流变性	61
六、石油沥青的耐久性	85
第三节 石油沥青的组成结构与技术性质	100
一、石油沥青的胶体结构与其技术性质的关系	100
二、石油沥青的组分含量与其技术性质的关系	101
三、石油沥青的组成对其流变特性的影响	102
四、石油沥青的老化与再生	103
第四节 石油沥青的生产工艺及其对沥青技术性质的影响	108
一、石油的基属分类和石油基属与沥青路用性能的关系	108
二、石油沥青的生产工艺及其对沥青技术性质的影响	109
第五节 石油沥青的技术要求和技术标准	119
一、我国石油沥青的技术要求和技术标准	119
二、国外石油沥青的技术要求和技术标准	120
第二章 其它各类沥青	143
第一节 天然沥青	143
第二节 焦油沥青	144
一、煤沥青的化学组成和结构特点	145
二、煤沥青的技术性质与技术标准	148
第三节 乳化沥青	149
一、乳化沥青的组成材料	150

二、乳化沥青的形成机理	154
三、乳化沥青的制备	157
四、乳化沥青的分裂机理和应用	158

第二篇 沥青材料试验

第一章 石油沥青试验	164
第一节 化学性质试验	164
试验2-1-1 沥青化学组分试验	164
一、沥青三组分试验方法(溶剂-吸附法)	164
二、沥青四组分试验方法(色层分析法)	169
甲、科尔贝特沥青组分分析法	169
乙、我国现行四组分试验法	172
三、沥青五组分试验法(化学沉淀法)	176
试验2-1-2 沥青含蜡量试验	180
一、蒸馏法	180
二、吸附法	182
三、色层法	184
试验2-1-3 石油沥青溶解度(或煤沥青游离碳含量)试验	185
试验2-1-4 沥青分子量的测定	187
一、蒸汽渗透压法	187
二、凝胶渗析色谱法	194
试验2-1-5 液体石油沥青蒸馏试验	195
试验2-1-6 沥青含水量试验	199
第二节 物理性质试验	202
试验2-1-7 沥青相对密度试验	202
试验2-1-8 沥青折光率的测定	206
试验2-1-9 沥青闪点和燃点试验	208
一、布林肯式开口杯法	208
二、克利夫兰开口杯法	211
试验2-1-10 沥青软化点试验	213
一、环与球法	213
二、水银法	216
试验2-1-11 沥青脆点试验	217
试验2-1-12 沥青绝对粘度试验	219
一、真空毛细管粘度计法	219
二、逆流式毛细管粘度计法	222
三、同轴旋转粘度计法	225
四、滑板式微膜粘度计法	231
试验2-1-13 沥青技术粘度试验	234

一、道路标准粘度计法	234
附注：自动数字显示沥青标准粘度计试验法	236
二、赛氏粘度计法	238
三、恩氏粘度计法	241
试验2-1-14 石油沥青针入度试验	244
试验2-1-15 石油沥青延度试验	248
试验2-1-16 石油沥青烘箱加热试验	250
一、沥青加热损失试验	250
二、沥青薄膜烘箱加热试验	252
试验2-1-17 沥青粘附性试验	258
一、水煮法	258
二、静态浸水法	260
三、光电分光光度法	261
第二章 其它沥青试验	266
第一节 煤沥青试验	266
试验2-2-1 软煤沥青蒸馏试验	266
试验2-2-2 软煤沥青酚含量试验	270
试验2-2-3 软煤沥青萘含量试验	271
第二节 沥青乳液试验	273
试验2-2-4 筛上剩余量试验	273
试验2-2-5 沥青微粒粒径测定	274
试验2-2-6 沥青微粒电荷试验	274
试验2-2-7 粘度试验	275
试验2-2-8 蒸发残留物含量和性质试验	275
试验2-2-9 贮存稳定性试验	276
试验2-2-10 粘附性试验	276
试验2-2-11 集料拌和试验	277
试验2-2-12 水泥拌和试验	278
试验2-2-13 冻融稳定性试验	279
试验2-2-14 拌和稳定性试验	280
主要参考文献	282
沥青材料技术词汇英汉对照表	285

第一篇 沥青材料性能

绪 论

沥青材料 (Bituminous material) 是以沥青 (Bitumen) 为主要成分的一种有机结合料。沥青是由天然出产或各种有机物经热加工后得到的产品, 它是由多种化学成分极其复杂的烃类所组成。这些烃类为一些带有不同长短侧链的高度缩合的环烷烃和芳环烃, 以及这些烃类的非金属元素 (氧、氮、硫) 的衍生物, 有时还含有带有一些微量金属元素 (钒、镍、锰、铁…) 的烃类等。它们几乎完全能溶于二硫化碳等有机溶剂。外观颜色呈黑色以至黑褐色。在常温时可为液态、半固态或固态。具有高度非牛顿液体、复合粘-塑性或粘-弹性的力学性质。

沥青按其 在自然界中获得的方式, 可分为地沥青和焦油沥青两大类。

1. 地沥青 (Asphalt) 是由天然产状或石油精制加工得到, 以“沥青”占绝对优势成分的沥青材料。按其产源又可分为:

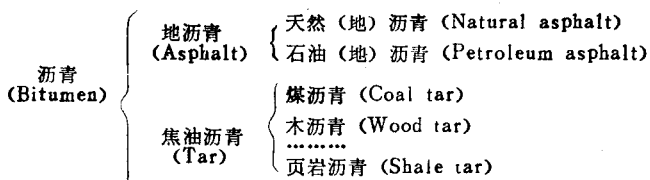
(1) 天然沥青 (Natural asphalt) 是石油在自然条件下, 长时间受各种自然因素作用, 形成以纯粹沥青成分存在 (如沥青湖、沥青泉或沥青海等)、或渗入各种孔隙性岩石中 (如岩地沥青) 与砂石材料相混 (如地沥青砂、地沥青岩)。前者可直接使用, 后者可作为混合料使用, 亦可用水熬煮或溶剂抽提得纯地沥青后使用。

(2) 石油沥青 (Petroleum asphalt) 是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, 最常得到的有: 直馏沥青、氧化沥青、裂化沥青、溶剂脱沥青、调和沥青等。还可经过加工而得到轻制沥青、乳化沥青等。

2. 焦油沥青 (Tar) 是各种有机物 (煤、泥炭、木材…等) 干馏加工得到的焦油、经再加工而得到的产品, 故称为焦油沥青。

焦油沥青按其加工的有机物名称而命名, 如由煤干馏所得的煤焦油, 经再加工后所得的沥青, 即称为煤沥青 (Coal tar)。

以上各类沥青, 可归纳如下:



页岩沥青按其技术性接近石油沥青, 按其生产工艺则接近焦油沥青, 目前分类暂属焦油沥青类。

以上这些类型的沥青中, 在道路建筑中最常用的主要是石油沥青和煤沥青两类, 其次是天然沥青, 我国亦有较大储量。

第一章 石油沥青

第一节 石油沥青的组成和结构

一、石油沥青的元素组成 (Elemental composition)

石油沥青是由多种极其复杂的碳氢化合物和这些碳氢化合物的非金属衍生物组成的混合物。它的化学组成元素主要是碳(80~87%)和氢(10~15%)，其次是一些非烃元素，如氧、硫、氮等(<3%)，此外还含有一些其他金属元素，如镍、钒、铁、锰等微量元素，但含量都很少，约在几个至几十个ppm。现举几种典型道路沥青的常量元素和微量元素分析示例列于表1-1-1和表1-1-2。

由于沥青化学组成结构的复杂性，虽然多年来许多化学家致力于这方面的研究，但从沥青的元素分析成果，尚不能直接得到沥青元素含量与路用性能的相关关系。

但是近来对碳氢比的深入研究，某些研究者认为，碳氢比在一定程度上能说明沥青结构单元中组成烃类基属含量的大致比例。因为沥青中环结构特别是芳香环结构愈多，则碳氢比愈高(例如：正己烷C/H=0.43，环己烷的C/H=0.5，苯的C/H=1.0)。例如表1-1-1中石蜡基沥青(如大庆沥青)的碳氢比要比环烷基沥青(如阿油沥青)的低得多。因此从碳氢比可以间接的了解沥青组成结构的概貌。

元素分析与分子量配合可以计算出沥青的平均分子式(参见表1-1-1)；如与相对密度、分子量和核磁共振波谱等数据配合可以计算出沥青的平均化学结构(参见本节沥青化学结构)。因此，沥青元素分析是解析沥青组成的重要原始数据。

微量元素在沥青中的作用，目前还研究不够，一般认为它们的含量与沥青的加工工艺和性能改善有较密切的关系。

二、石油沥青的化学组分 (Chemical component)

由于沥青化学组成结构的复杂性，以及目前分析技术的限制，要将沥青分离为纯粹的化合物的单体，存在许多困难。因此许多研究者都集中力量于研究沥青的化学组分分析。化学组分分析就是利用沥青在不同有机溶剂中的选择性溶解或在不同吸附剂上的选择性吸附，而将沥青分离为几个化学性质有(与路用性能)一定联系的组，这些组就称为沥青的“组分”。

组分分析方法，近半个多世纪来，曾有许多研究者，如J.马尔库松(Marcusson)、R.L.哈巴尔德(Hubbard)、R.N.特雷斯克勒(Traxler)、F.S.罗斯特勒(Rostler)等作出了突出的贡献。曾经采用过蒸馏法、溶剂抽提法、吸附法、色层分析法和化学沉淀法等，将沥青分离为不同的组分。根据现有文献，编者将早期研究者对沥青组分划分总结如图1-1-1。但是根据近年来道路建筑的实践表明，最适用的几种方法及其组分，汇列如表1-1-3。这几种方法经常在研究文献中用来解释沥青路用性能的变异、老化或再生、改性等。读者必须了解这些方法的大致流程、它们各组分的含意，及其含量对沥青路用性能的相关性。

现将道路沥青研究和生产应用中，广泛应用的“二组分”“三组分”“四组分”和

表1-1-1

道路沥青的化学元素组成

沥青 编号	沥青名称	针入度 $P_{25\pm0.5}$ $(1/10mm)$	分子量 \bar{M}_w	元素组成 (%)				氢碳比 (原子比) (H/C)	碳氢比 (原子比) (C/H)	平均分子式	
				碳 (C)	氢 (H)	氧 (O)	硫 (S)				氮 (N)
1-1	甲 国产沥青 一、大庆原油 丙脱60°沥青	62	955	86.10	11.00	1.78	0.38	0.74	1.52	0.657	$C_{88.5}H_{104.2}O_{1.1}S_{0.1}N_{0.5}$
1-2	丙-丁脱60°沥青	56	1008	86.70	11.00	1.40	0.25	0.65	1.51	0.661	$O_{72.6}H_{110.0}O_{0.9}S_{0.1}N_{0.5}$
2-1	二、华北原油 丙脱调和60°沥青	76	1102	87.60	10.80	0.75	0.30	0.46	1.49	0.681	$C_{80.4}H_{118.1}O_{0.9}S_{0.1}N_{0.1}$
3-1	三、大港原油 大港丙脱60°沥青	65	1015	85.50	11.00	1.96	0.74	0.80	1.53	0.652	$C_{72.8}H_{110.8}O_{1.2}S_{0.3}N_{0.0}$
4-1	四、胜利原油 胜利氧化60°沥青	45	1020	84.50	10.60	1.68	2.51	0.71	1.55	0.669	$C_{71.8}H_{107.8}O_{1.1}S_{0.8}N_{0.0}$
4-2	孤岛氧化60°沥青	60	1142	84.10	10.50	1.24	3.12	1.04	1.56	0.672	$C_{80.0}H_{119.0}O_{0.9}S_{1.1}N_{0.9}$
5-1	乙 国外沥青 阿尔巴尼亚氧化沥青	43	1300	81.90	9.60	1.50	6.47	0.53	1.42	0.716	$C_{88.6}H_{126.8}O_{1.2}S_{2.6}N_{0.6}$
5-2	阿拉伯氧化沥青	62	1048	84.10	9.20	1.45	4.90	0.34	1.32	0.768	$C_{73.4}H_{96.7}O_{0.6}S_{1.6}N_{0.8}$
5-3	朱贝尔溶剂沥青	70	1065	83.40	9.60	0.48	5.87	0.28	1.39	0.730	$C_{74.0}H_{101.4}O_{0.3}S_{2.0}N_{0.2}$
5-5	美国加利福尼亚沥青	82	1253	82.21	10.16	0.37	5.3	0.38	1.47	0.680	$C_{88.8}H_{127.3}O_{0.3}S_{2.1}N_{0.3}$
5-6	美国加利福尼亚沥青	59	1393	82.63	10.01	0.54	5.4	0.39	1.44	0.693	$C_{88.9}H_{130.4}O_{0.6}S_{2.4}N_{0.4}$
6-4	美国加利福尼亚沥青	84	1475	80.70	9.99	0.75	5.9	0.72	1.47	0.679	$C_{90.3}H_{147.4}O_{0.7}S_{2.7}N_{0.3}$

道路沥青的微量元素组成

表1-1-2

沥青编号 №	微 量 元 素 组 成 (ppm)						
	镍 (Ni)	钒 (V)	铁 (Fe)	锰 (Mn)	钙 (Ca)	镁 (Mg)	钠 (Na)
1	21	63	39	0.2	7	6	25
2	55	102	22	0.3	39	34	159
3	42	154	141	1.5	5	7	69
4	133	1590	56	1.3	311	5	42
5	130	104	84	0.8	335	4	14
6	123	97	147	1.2	106	19	75
7	139	284	52	1.0	230	26	67
8	10	7	100	3.2	13	8	78
9	39	118	5	0.1	171	2	10
10	138	369	7	0.1	28	11	118
11	87	281	15	0.2	1	1	6
12	113	151	113	3.7	190	113	108
13	112	19	146	1.9	129	134	97
14	91	463	24	0.3	9	6	30
15	13	15	49	0.4	189	10	40

常用的沥青组分分析方法及其组分

表1-1-3

分 析 方 法	组 分 名 称
马尔库松-埃克曼二组分法	软沥青质、沥青质
哈巴德-斯坦菲尔德三组分法	油分、树脂、沥青质
壳牌石油公司四组分法	饱和分、芳香分、胶质、沥青质
科尔贝特四组分法	饱和分、环烷-芳香分、极性芳香分、沥青质
罗斯特勒-斯特恩伯格五组分法	链烷分、第二酸性分、第一酸性分、氨基、沥青质

“五组分”分析方法的主要流程，各组分的含意和特征比较等分述于后；同时对多组分的分析方法亦作简要介绍。

1. 二组分分析法

采用选择性溶剂法将沥青溶解在溶剂中，不溶分为沥青质 (Asphaltene)，可溶分即为软沥青质 (Maltene)。J. 马尔库松和 R. 埃克曼 (Eickmann) 建议的方法是将沥青溶解于正戊烷 ($n-C_5$) 中，沥青质为沥青在正戊烷中的沉淀物，同时又为在硫酸中的沉淀物。软沥青质*是可溶于正戊烷，同时又溶于硫酸的部分。马尔库松发现软沥青质含量增加，针入度增大，软化点降低。当然这种简单二组分方法不可能解析很多沥青路用性能方面的问题。但是目前所有组分分析方法，都包含有采用选择性溶解的方法来沉淀沥青质这一步骤。

沥青 (Asphalt)		蜡 (Paraffine Wax)	
(二硫化碳可溶分)		(White oils)	
(四氯化碳可溶分)		(Dark oils)	
软沥青质 (Maltene) (正戊烷可溶分)		油分 (Oils)	(Soft resins)
		中性树脂 (Middle resins)	硬树脂 (Hard resins)
		酸性树脂 (Acid Resins)	沥青酸酐 (Asphaltic acid anhydrides)
			“沥青酸” (Asphaltic acids)
			沥青质 (Asphaltenes)
			沥青碳 (Carbines)
			似碳物 (Carboids)

图1-1-1 沥青化学组分早期研究的组划分示意图

采用选择性溶解的方法，测定沥青中沥青质的含量，主要与溶剂的性质、溶剂的用量和沉淀温度等因素有关。

艾勒斯 (Eilers) 认为沥青在非极性或弱极性的溶剂中，沥青质沉淀量与溶剂的内压力 (即 $\sigma V^{-\frac{1}{3}}$) 有关，其中 σ 为表面张力， V 为容积度。表1-1-4列出几种不同性质溶剂的内压力与沥青质沉淀量的关系。正戊烷、正己烷和正庚烷对几种国产沥青二组分分析结果如表1-1-5。

溶剂性质与沥青质沉淀量关系

表1-1-4

溶剂名称	溶 剂 性 质						沥青质沉淀量 (%)
	分子量 M	沸点 (°C)	相对密度 ρ_4^{20}	折光率 n_D^{20}	表面张力 $\sigma_{35^\circ\text{C}}$ (mN/cm)	内压力 $\sigma \cdot V^{-\frac{1}{3}}$	
正戊烷	72	36.2	0.6263	1.3578	15.9	3.27	33.5
2,2,3-三甲基丁烷	100	80.8	0.6900	1.3894	18.7	3.56	27.5
正庚烷	100	98.4	0.6837	1.3916	19.9	3.77	25.7
三甲庚烷	114	119.1	0.7055	1.3987	21.2	3.89	23.6
正壬烷	128	149.4~150.8	0.7182	1.4055	22.6	4.01	15.1
甲基环己烷	98	99.4~100.3	0.7691	1.4228	23.2	4.61	0.0
环己烷	84	81.4	0.7778	1.4257	24.0	5.04	0.0
苯	78	80.1	0.8794	1.5011	28.2	6.32	0.0

不同溶剂的沥青二组分分析结果

表1-1-5

沥青名称	溶 剂 名 称					
	正戊烷 ($n-C_5$)		正己烷 ($n-C_6$)		正庚烷 ($n-C_7$)	
	组 分 含 量 (%)					
	软沥青质	沥青质	软沥青质	沥青质	软沥青质	沥青质
华北100°道路沥青	—	—	97.84	2.16	99.90	0.10
胜利 60°道路沥青	80.23	19.77	90.70	9.30	95.66	4.34
孤岛100°道路沥青	—	—	85.30	14.70	93.70	6.30
胜利 60°道路沥青	—	—	84.72	15.28	93.75	6.25
阿油 60°道路沥青	—	—	72.80	27.29	80.00	20.00
新疆 10°建筑沥青	—	—	58.37	41.63	70.39	29.70
大庆 10°建筑沥青	52.48	47.52	50.32	49.68	63.98	36.02

2. 三组分分析法

将沥青分离为油分 (oil)、树脂 (Resin)* 和沥青质 (Asphaltene) 三个组分的方法，早在本世纪初就提出，但是一直至40年代 R.L. 哈巴尔德 (Hubbard) 和 K.E. 斯坦菲尔德 (Stunfield) 才将它完善起来，故称 Hubbard-Stanfield 法，或称美国矿山局法 (Bureau of Mines 法，简称 M-B 法)。这个分析方法因为兼用了选择性溶解和选择性

* 沥青化学组分分析中，对 Resin 一词，本书在三组分中译为“树脂”，在四组分则译为“胶质”。以资区别。

吸附的方法，所以又称为溶解-吸附法。该法原理是将沥青在正戊烷中沉淀沥青质，再将软沥青用二氧化硅吸附，然后用正戊烷抽提油分最后用10%的甲醇和90%的苯抽提树脂。其分析流程示如图1-1-2。按上述定义及原理并考虑国产沥青的组分特点，我们曾采取下述分析流程：

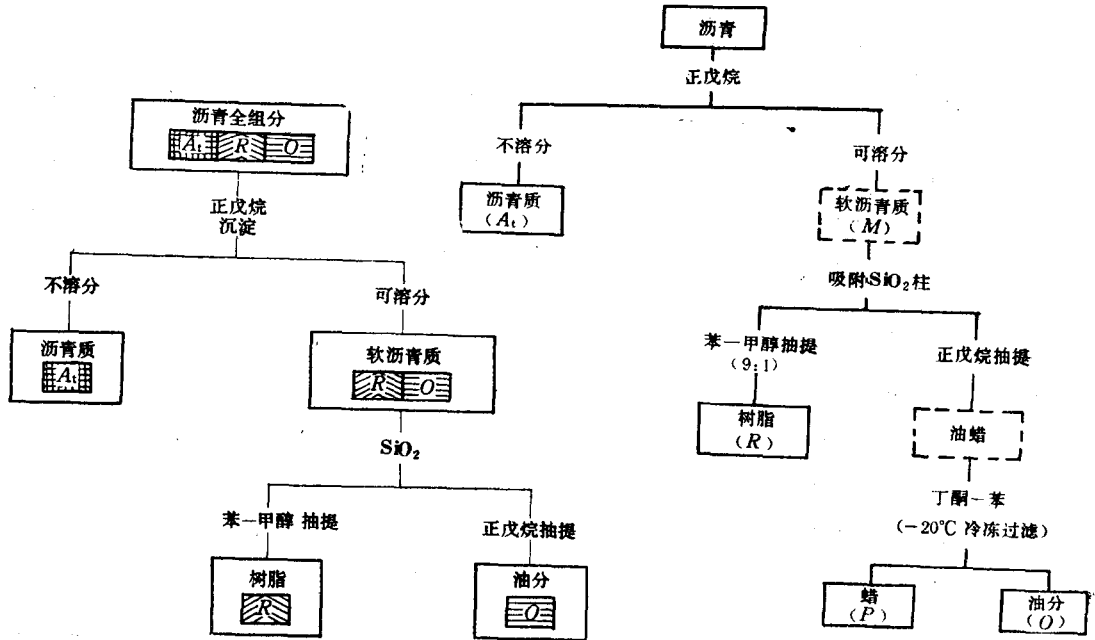


图1-1-2 哈巴尔德沥青三组分分析流程图

图1-1-3 我国现行沥青溶解-吸附法分析流程图

用正戊烷沉淀沥青质。再将溶于正戊烷的可溶分用硅胶吸附后，装于抽提仪中先用正戊烷抽提油蜡，再用苯-甲醇抽出树脂。最后将抽出的油蜡用丁酮-苯为脱蜡溶剂。在-20℃的条件下，冷冻过滤分离油、蜡。

我国现行溶解-吸附法分析流程可图解如图1-1-3。

按溶解-吸附法分离得各组分的特性比较如表1-1-6。

沥青三组分分析法的各组分特性的比较

表1-1-6

组分	性状	颜色	外观	分子量 \bar{M}_w	C/H 比 (原子比)	特征
油分		淡黄至红褐色	粘稠透明的液体	200~700 (平均500)	0.5~0.7	几乎溶于所有溶剂，具有光学活性，很多情况下发荧光，相对密度小于0.910~0.925
树脂		红褐色直至深褐色	粘性的半固体	500~3,000 (平均1,000)	0.7~0.8	相对密度大于1，温度敏感性高，熔点低于100℃
沥青质		深褐以至黑色	固体脆性粉末状的微粒	1,000~5,000	0.8~1.0	加热不熔化，分解为硬焦炭，沥青质的存在是沥青呈黑色的原因

按上述分析方法对几种不同油源和工艺的典型国产沥青进行分析，其组分分析结果示例如表1-1-7。

从表1-1-7分析结果可看出相同粘度的沥青。由于原油基属的差异。其所含化学组分不同，通常环烷基较中间基与石蜡基原油中所含沥青质较多，在相同工艺条件下，所得到的渣

道路沥青化学组分 (溶解吸附法)

表1-1-7

沥青编号	沥青名称	化学组分 (溶解-吸附法) (%)			
		油分 (O)	胶质 (R)	沥青质 (A)	蜡 (P)
I. 国产沥青					
I-1-1	大庆 (低硫石蜡基) 渣油 $C_{40}^s = 38s$	36.41	30.35	10.32	22.92
I-2-1	胜利 (含硫中间基) 渣油 $C_{40}^s = 32s$	38.97	32.46	12.39	16.18
I-3-1	大港 (含硫环烷中间基) 渣油 $C_{40}^s = 34s$	37.41	37.29	16.40	8.90
I-1-2	大庆 (低硫石蜡基) 55° 道路沥青	13.64	19.97	33.86	32.53
I-1-3	大庆 (低硫石蜡基) 60° 道路沥青	4.06	77.05	14.86	4.03
II. 外油沥青					
II-1-1	特立尼达精制沥青	31.0	23.0	37.0	—
II-2-2	加利福尼亚原油真空蒸馏沥青	36.4	59.0	4.6	—
II-2-2	加利福尼亚原油氧化沥青	52.8	28.9	18.3	—
II-3-1	委内瑞拉原油真空蒸馏沥青	49.0	35.0	16.0	—
II-4-1	墨西哥原油真空蒸馏沥青	44.0	34.0	22.0	—
II-4-2	墨西哥原油氧化沥青	44.8	28.4	26.8	—
II-5-1	热裂沥青 (软化点40°C)	74.0	—	11.5	—

注: 1. 国产沥青的组分分离系按我国现行 (溶解-吸附) 法, 其分离方法与原来哈巴尔德和斯坦菲尔德 (Hubbard and Stanfield) 的方法基本相同。

2. 国外沥青系根据B. 墨菲 (Murphy) 的研究资料。

油中沥青质含量亦较高 (如№I-3-1渣油的沥青质含量较№I-1-1为高, 而№I-2-1居中)。以相同原油为原料所生产的沥青, 由于工艺条件的不同, 其沥青化学组分亦不同, 通常达到相同稠度时, 氧化沥青的沥青质含量数值较直馏与溶剂沥青为高 (如№I-1-2较№I-1-3为高)。

“溶解-吸附”法的优点是组分界限很明确, 组分含量能在一定程度上说明它的路用性能, 但是它的主要缺点是分析流程复杂, 分析时间很长, 为避免这一缺点, 我们近年改用四组分“色谱分析”法。

3. 四组分分析法

沥青四组分的分析方法, 早在50年代初 G. 奥东尼尔 (O'Donnell) 等就将沥青分离为饱和分 (Saturates)、芳香分 (Aromatics)、胶质 (Resin) 和沥青质 (Asphaltene) 等四个组分。后来由于于色层法的发展, 广泛采用色层法来分析上述四个组分 (例如壳牌石油公司 SHELL 法)。直到60年代, 美国 L. W. 科尔贝特 (Corbett) 提出了较完善的四组分色层分析法。该方法是将沥青试样先用正庚烷脱去沥青质, 得到约10g左右的软沥青质。然后将软沥青质的正庚烷溶液吸附于活化过的 F-20 氧化铝 (aluminum oxide) 谱柱 (直径3.1cm, 长100cm) 上, 用规定的溶剂类型和数量, 连续洗释, 分别得到饱和分 (Saturates)、环烷芳香分 (Naphthene-aromatics) 和极性芳香分 (Polar-aromatics) 等组分。

科尔贝特分析沥青化学组分的方法, 采用图1-1-4流程。

按科尔贝特的沥青化学组分分析法的各组分定义如下:

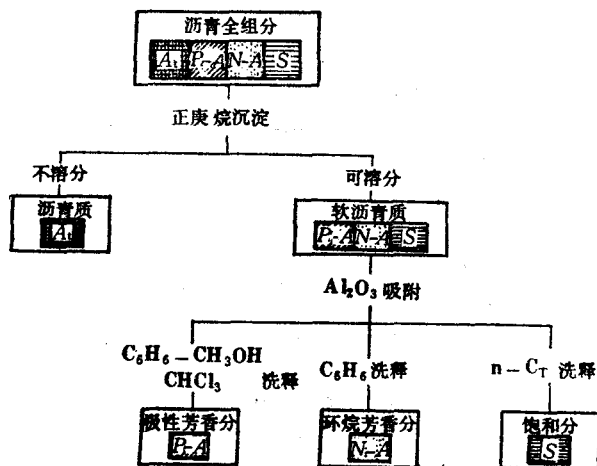


图1-1-4 科尔贝特沥青四组分分析流程图

- (1) 沥青质：沥青中不溶解于正庚烷的组分；
 - (2) 饱和分：沥青中溶于正庚烷，吸附于 Al_2O_3 谱柱上，能为正庚烷洗释的组分；
 - (3) 环烷芳香分：沥青经上述处理为苯所洗释的组分；
 - (4) 极性芳香分：沥青经上述处理能为苯-甲醇和三氯甲烷所洗释的组分。
- 上述方法分离得各化学组分的特性如表1-1-8。

沥青四组分分析法的各组分特性的比较

表1-1-8

组分名称	含量范围 (重, %)	外观特征	相对密度 d_4^{20} (平均)	分子量 M (平均)	芳烃指数 f_a	环数/分子 (平均)		化学结构
						环烷环	芳香环	
饱和分 (S)	5~15	无色液体	0.87	650	0.00	3.0	0.0	纯链烷烃 + 纯环烷烃 + 混合链烷-环烷烃
环烷-芳香分 (N-A)	30~45	黄色至红色液体	0.99	725	0.25	3.5	2.6	混合链烷-环烷-芳香烃 + 芳香烃 + 含硫化合物
极性-芳香分 (P-A)	30~45	黑色液体	1.07	1150	0.42	3.6	7.4	在多环结构中的链烷-环烷-芳香烃 + 含硫、氧、氮化合物
沥青质 (A)	5~20	棕色至黑色固体	1.15	3500	0.50	—	—	在缩合环结构中的链烷-环烷-芳香烃 + 硫、氧、氮化合物

我国现试行的四组分分析法：

我国在石油化工研究院主持下根据国产沥青的特点，进行了《色层分析 (Chromatographic analysis)》法的研究，建议图1-1-5的分析流程，而将沥青分离为下列组分：(1) 沥青质：不溶于正庚烷而溶于苯的组分；(2) 饱和分：可溶于正庚烷，吸附于 Al_2O_3 谱柱上，能为60~90℃脱芳石油醚洗释的组分；(3) 芳香分：经上述处理后，能为苯所洗释的组分；(4) 胶质：经上述处理后，能为苯-乙醇所洗释的组分；(5) 蜡 (Paraffinwax)：饱和分和芳香分中以丁酮-苯为脱蜡溶剂。在-20℃冷冻分离的固态烷烃。

分离流程可概要示意如图1-1-5。

按图1-1-5的流程，我们曾对多种不同油源和工艺的国产沥青和渣油进行了化学组分分