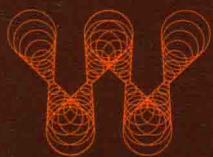


普通高等教育规划教材

煤焦油工艺学



朱银惠 郭东萍 主编

王建华 主审

MEIJIAOYOU GONGYIXUE



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

煤焦油工艺学

朱银惠 郭东萍 主编
王建华 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

《煤焦油工艺学》主要阐述目前煤化工企业常用的煤焦油加工工艺与主要设备, 兼顾最新技术的开发和应用情况, 同时对煤焦油加工企业的环境治理进行了简单介绍。全书分为十一章, 分别介绍了煤焦油加工现状、煤焦油的初步加工、工业萘的生产、粗酚的精制、焦油盐基化合物的生产、洗油馏分的精制、蒽油馏分的加工、煤焦油沥青的加工、低温煤焦油加工技术、煤焦油加氢精制和煤焦油加工厂环境保护。

本书可作为高等学校煤化工专业教材, 也可供从事煤化工生产、科研的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤焦油工艺学/朱银惠, 郭东萍主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 11
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-28254-5

I. ①煤… II. ①朱… ②郭… III. ①煤焦油-工艺学-高等学校-教材 IV. ①TQ524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 241337 号

责任编辑: 张双进
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 王 晓 宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市航远印刷有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 13½ 字数 344 千字 2017 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

前 言

煤焦油是煤炭干馏的主要副产品，是重要的化工原料。煤焦油中含有上万种有机化合物，煤焦油产品广泛用于化工、医药、染料、农药和碳素等行业。全国 3000 万吨以上的大型煤炭企业几乎都涉及煤化工，“逢煤必化”现象十分普遍。作为煤化工的主要副产品，煤焦油产量近来大幅增长，煤焦油深加工行业迅速崛起，产业规模、技术和精细化程度不断提高，成功迈上新台阶。煤焦油加工工艺和新产品开发方面也有了新的发展。近年来我国在煤焦油加工集中化、大型化方面有了长足进展，研究开发煤焦油新产品和分离新技术是各国煤焦油行业的重要任务。

笔者曾在煤化工企业从事煤焦油加工方面的技术工作，在学校从事煤焦油方面的教学和科研工作。本书是在参阅了煤焦油方面的专著、教材及论文，结合相关企业的生产工艺的基础上编写而成。

全书分十一章，介绍了煤焦油加工现状、煤焦油的初步加工、工业萘的生产、粗酚的精制、焦油盐基化合物的生产、洗油馏分的精制、蒽油馏分的加工、煤焦油沥青的加工、低温煤焦油加工技术、煤焦油加氢精制和煤焦油加工厂环境保护。本书内容翔实、通俗易懂，贴近生产实际，实用性强。本书可作为高等学校煤化工专业教材，也可供从事煤化工生产、科研的技术人员参考。

本书由朱银惠、郭东萍主编。其中第一～三章由朱银惠编写，第四～六章由鄂永胜编写，第七章由李海桥编写，第八～十章由郭东萍编写，第十一章由马东祝编写。全书由河北旭阳煤化工有限公司王建华主审。

由于编者水平有限，书中难免有不当之处，希望各位专家和读者提出宝贵意见。

编者

2016 年 8 月

目 录

Chapter 1	第一章	001
	绪论	
	第一节 煤焦油加工现状	001
	一、煤焦油加工的发展	001
	二、中国煤焦油加工的现状	002
	第二节 煤焦油的化学组成和性质	002
	一、煤焦油的形成	002
	二、煤焦油的组成和性质	004
	第三节 影响煤焦油成分的因素及煤焦油各种馏分的产品	008
	一、影响煤焦油成分的因素	008
	二、煤焦油各种馏分产品及用途	009
Chapter 2	第二章	012
	煤焦油的初步加工	
	第一节 煤焦油加工前的准备	012
	一、煤焦油的储存和运输	012
	二、煤焦油的质量均合	013
	三、煤焦油的脱水	013
	四、煤焦油的脱盐	014
	第二节 煤焦油的连续蒸馏	016
	一、一次汽化过程和一次汽化温度	016
	二、煤焦油连续蒸馏工艺流程	018
	三、萘集中度和酚集中度	025
	四、馏分的切取制度	026
	第三节 煤焦油连续蒸馏系统的主要设备	026
	一、管式加热炉	026
	二、馏分塔	027
	第四节 管式加热炉的维护和管理	029
	一、点火和熄火	029
	二、正常操作	030
	三、日常维护检查	031
	四、定期维护检查	032
	五、常见故障原因与对策	032

Chapter 3	第三章	
	工业萘的生产	034
	第一节 萘的性质和分布	034
	一、萘的性质	034
	二、萘的分布	036
	三、提取萘的原料	036
	四、质量指标	037
	五、萘的分离精制方法	038
	第二节 工业萘的生产	039
	一、洗涤脱酚工艺	039
	二、工业萘蒸馏	044
	三、主要设备结构及操作	048
Chapter 4	第四章	
	粗酚的精制	053
	第一节 酚类化合物的性质和分布	053
	第二节 酚类化合物的提取	054
	一、工艺流程	054
	二、提取酚类化合物的操作方法	059
	第三节 粗酚的精制	060
	一、减压间歇精馏	060
	二、减压连续精馏	063
	三、酚类产品的质量	064
	四、精酚生产的操作	066
	第四节 酚类同系物的分离精制	069
	一、间、对甲酚的分离精制	069
	二、3,5-二甲酚的提取	072
Chapter 5	第五章	
	煤焦油盐基化合物的生产	073
	第一节 煤焦油盐基化合物的性质及分布	073
	第二节 提取煤焦油盐基化合物	074
	一、吡啶盐基的提取	075
	二、喹啉盐基的提取	077
	第三节 煤焦油盐基的精制	080
	一、吡啶盐基的精制	080
	二、喹啉盐基的精制	083
	第四节 吡啶同系物的分离精制	088
	一、吡啶同系物的性质和用途	088
	二、3-甲基吡啶馏分中同系物的分离	088

三、2,4-二甲基吡啶的分离	090
四、2,4,6-三甲基吡啶的分离	090
第五节 喹啉同系物的分离精制	091
一、喹啉同系物的性质和用途	091
二、喹啉和异喹啉的分离精制	091
三、2-甲基喹啉的分离精制	093
四、4-甲基喹啉的分离精制	093

第六章 洗油馏分的精制

第一节 洗油馏分的性质与组成	094
第二节 洗油馏分的加工	096
一、洗油切取窄馏分的加工工艺	096
二、洗油恒沸精馏的加工工艺	097
三、洗油萃取精馏的加工工艺	100
四、洗油精馏与洗涤相结合的加工工艺	101
第三节 甲基萘的分离精制	102
一、甲基萘的性质及用途	102
二、重结晶法	102
三、共沸精馏法	103
四、精馏、冷冻结晶法	105
五、间歇高效精馏法	105
六、化学精制法	107
七、连续减压精密精馏法	107
第四节 吲哚的分离精制	109
一、吲哚的性质及用途	109
二、碱熔法	110
三、溶剂萃取法	110
四、配合法	113
五、酸聚合法	113
六、吸附法	114
七、共沸精馏法	115
八、萃取精馏法	116
九、压力结晶法	116
第五节 茚的分离精制	117
一、茚的性质及用途	117
二、茚的生产工艺	117
第六节 氧茚和茚的分离精制	118
一、氧茚和茚的性质及用途	118
二、氧茚的分离精制	119
三、茚的分离精制	119

第七节 联苯的分离精制	122
一、钾熔法	122
二、精馏法	122
三、共沸精馏法	122

Chapter 7 第七章 葱油馏分的加工 123

第一节 一葱油馏分的加工	124
一、葱、菲、咔唑的性质及用途	124
二、工业葱的制取	125
三、葱、菲、咔唑的制取	128
第二节 二葱油馏分的加工	141
一、茛葱、茛和茛的性质和分布	141
二、茛葱、茛和茛的精制	142
第三节 葱氧化制取葱醌	144
一、葱制取葱醌的氧化反应	145
二、气相催化氧化原理	145
三、葱制取葱醌的工艺	146

Chapter 8 第八章 煤焦油沥青的加工 150

第一节 沥青的性质	151
一、沥青的物理性质	151
二、沥青的化学性质	152
三、沥青的热力学性质	153
第二节 沥青生产工艺	154
一、中温沥青的生产	154
二、改质沥青的生产	154
第三节 沥青焦的生产	156
一、原料准备	157
二、延迟焦化	157
第四节 沥青针状焦	158
一、制取针状焦的理论基础	158
二、沥青针状焦的生产	158
第五节 沥青基碳纤维	160
一、通用沥青碳纤维的制取	160
二、高性能沥青碳纤维的制取	161
第六节 筑路混合沥青	162
一、混合原理	162
二、制造方法	162

Chapter 9	第九章		163
	低温煤焦油加工技术		
	第一节 低温煤焦油的生产方法		163
	一、低温干馏的概念		163
	二、低温干馏产品		164
	三、油页岩的低温干馏		164
	四、煤的低温干馏		166
	第二节 低温煤焦油的蒸馏		167
Chapter 10	第十章		175
	煤焦油加氢精制		
	第一节 煤焦油加氢精制		175
	一、概述		175
	二、生产工艺简介		176
	第二节 蒽油加氢精制		179
	一、概述		179
	二、主要的化学反应式		180
	三、工艺流程简述		181
Chapter 11	第十一章		184
	煤焦油加工厂环境保护		
	第一节 大气污染控制		184
	一、含萘烟气的控制		184
	二、含酚烟气的控制		186
	三、含吡啶烟气的控制		188
	四、沥青烟控制		189
	第二节 煤焦油加工污水中酚类化合物的回收		190
	一、蒸汽吹脱-碱洗法		191
	二、溶剂萃取法		193
	第三节 焦化废水的处理		194
	一、焦化废水水质的重要指标		195
	二、焦化废水处理方法		196
	第四节 煤焦油加工废渣的处理		203
	一、煤焦油加工废渣的来源		203
	二、焦化废水处理方法		203
	参考文献		204

第一章

绪 论

第一节 煤焦油加工现状

煤焦油是一个含上万种组分的复杂混合物，目前已从中分离并认定的单种化合物约 500 余种，约占煤焦油总量的 55%，其中包括苯、二甲苯、萘等 174 种中性组分；酚、甲酚等 63 种酸性组分和 113 种碱性组分。广泛应用于树脂、工程塑料、染料、农药、涂料及医药等方面，其中很多化合物是国防工业的贵重原料，一部分多环烃化合物是石油化工所不能生产和替代的。

煤焦油加工的产品在医药、农药、染料、合成纤维等领域具有一定的不可替代性，且在苯类同系物中，两环以上的杂环芳烃几乎全部来自煤焦油。这使得发展焦油化工成为许多国家关注的重要课题之一，各国都在积极开发研究煤焦油深度加工和分离的新技术，以生产适销对路和高附加值的精细化工新产品。

一、煤焦油加工的发展

煤焦油的实验室研究始于 1820 年，其后相继发现了萘（1824 年）、苯酚（1830 年）、蒽（1833 年）、苯胺和喹啉（1834 年）、苯（1845 年）、甲苯（1849 年）和吡啶（1854 年）等一系列主要化合物，为有机化学的发展奠定了基础。1822 年英国建成第一个煤焦油蒸馏工业装置，主要是为浸渍铁路枕木和建筑用木料提供重油。1860 年 J. Ruetgers 在柏林附近建成第一家煤焦油加工厂，一直发展到现在，为煤焦油加工的技术进步作出了历史性贡献。由于合成染料和药物研究的开始，煤焦油中的苯、萘和蒽在 19 世纪后期成为迅速崛起的德国有机化学工业的主要原料。可以说没有煤焦油，便没有近代有机合成。1900 年世界合成染料的工业产值高达 1.58 亿马克（原德国货币单位），德国竟占 87%。德国的主要化学公司，如 BASF、Bayer 和 Hoechst 等都是从煤焦油加工发展起来的。

直至第二次世界大战结束，工业用苯、甲苯、萘、蒽、苯酚和杂酚油、吡啶和喹啉等几乎全部来自煤的焦化副产品：粗苯和煤焦油。在石油化工高度发展的今天，虽然单环芳烃的主要来源已不再是煤，但多环芳烃和碳素工业的沥青仍主要甚至全部来自煤焦油。

二、中国煤焦油加工的现状

我国煤焦油加工已实现规模化生产的产品包括：沥青类、萘类、酚类、油类及其衍生产品等系列共计 70 余种。日本单套生产规模最大 60 万吨/年，德国单套生产规模最大 50 万吨/年，我国单套生产规模最大 50 万吨/年，达到此生产规模的有武汉钢铁（集团）公司、山东省枣庄市杰富意振兴化工有限公司。

2015 年炼焦耗煤 5.83 亿吨，产煤焦油 2332 万吨。实际加工煤焦油 1235.26 万吨，占总煤焦油总产量的 52.97%。2016 年炼焦耗煤预计 5.4 亿吨。

传统煤焦油加工的产品为工业萘、酚等，煤焦油中的洗油、蒽油及加工过程中产生的中性油没有得到有效利用，大部分作为初级燃料进入市场。我国自主研发的煤焦油加氢技术日渐成熟，弥补了传统煤焦油加工的不足，对煤焦油中的洗油、蒽油及加工过程中产生的中性油进行加工，生产出符合环保要求的燃料，在提高产品附加值的同时，实现经济效益和社会效益的双丰收，实现并完善了煤化工向石油和有机化工的转型。2015 年，国内中温煤焦油加氢总产能达 1700 万吨，新增兰炭产能 1.7 亿吨。

第二节 煤焦油的化学组成和性质

一、煤焦油的形成

煤焦油是煤料在高温炼焦过程中的热解产物，是从所产生的粗煤气中回收的液态产品。

装入炭化室内的煤料，首先析出吸附在煤中的水、二氧化碳和甲烷等。随着煤料温度的升高，煤中分子结构含氧多的物质分解为水、二氧化碳等。当煤层温度达到 300~550℃，则发生煤大分子侧链和基团的断裂，450℃时焦油产率最高，所得产物为初次分解产物，即初煤焦油。初煤焦油主要含有脂肪族化合物、烷基取代的芳香族化合物及酚类。初次分解产物一部分通过炭化室中心的煤层，一部分经过赤热的焦炭层沿着炉墙进入炭化室顶部空间，在 800~1000℃的条件下发生深度热分解，所得产物为二次分解产物，即高温煤焦油。高温煤焦油主要含有稠环芳香族化合物。初煤焦油和高温煤焦油在组成上有很大差别，组成见表 1-1。

表 1-1 初煤焦油和高温煤焦油的组成

项 目		初 焦 油	高温焦油
产率/%		10.0	3.0
各组分质量 分数/%	饱和烃	10.0	
	酚类	25.0	1.5
	萘	3.0	10.0
	菲和蒽	1.0	6.0
	沥青	35.0	50.0
化合物种类		几百种	近万种

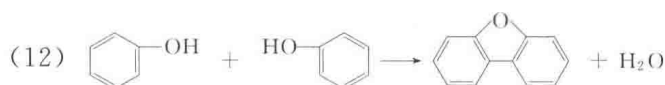
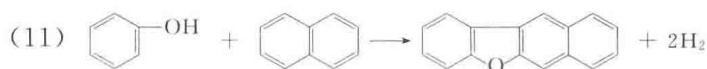
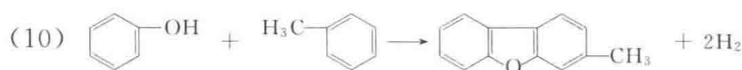
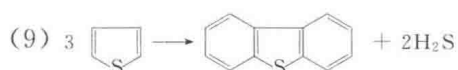
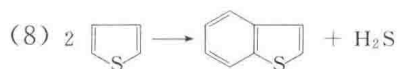
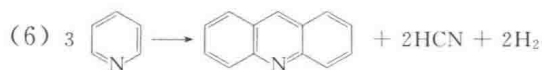
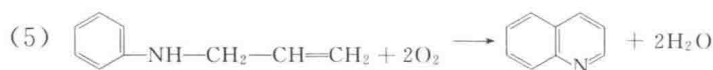
高温煤焦油实质是初煤焦油在高温作用下经热化学转化形成的。热化学转化过程非常复杂，包括热分解、聚合、缩合、歧化和异构化等反应。下面列出几种芳香族化合物和杂环化合物热化学转化可能进行的反应。

1. 芳香族化合物的生成

- (1) $3\text{CH}\equiv\text{CH} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6$
- (2) $3\text{CH}=\text{CH}_2 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$
- (3) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 + \text{C}_6\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_{10}\text{H}_8 + 2\text{H}_2$
- (4) $\begin{array}{c} \text{H}_2 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2 \\ | \quad | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2 \\ | \\ \text{H}_2 \end{array} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + 3\text{H}_2$
- (5) $\text{C}_4\text{H}_5\text{N} + \text{C}_2\text{H}_4 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6 + \text{NH}_3$
- (6) $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{N} + \text{C}_2\text{H}_4 \longrightarrow \text{C}_{12}\text{H}_8 + \text{NH}_3$
- (7) $\text{C}_{12}\text{H}_9\text{N} + \text{C}_2\text{H}_4 \longrightarrow \text{C}_{14}\text{H}_{10} + \text{NH}_3$
- (8) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 \longrightarrow \text{C}_{18}\text{H}_{14} + 3\text{H}_2$
- (9) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_{12}\text{H}_8 + 2\text{H}_2$
- (10) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \longrightarrow \text{C}_{18}\text{H}_{14} + 2\text{H}_2$
- (11) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_3 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}_{10}\text{H}_7 \longrightarrow \text{C}_{16}\text{H}_{12} + \text{H}_2$
- (12) $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{CH}_2\text{CH}_2 \longrightarrow \text{C}_{12}\text{H}_8 + \text{H}_2$

2. 杂环化合物的生成

- (1) $2\text{C}_4\text{H}_5\text{N} \longrightarrow \text{C}_{10}\text{H}_7\text{N} + \text{NH}_3$
- (2) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3 + \text{NH}_3 + 2\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{H} \longrightarrow \text{C}_8\text{H}_{11}\text{N} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$
- (3) $2\text{R}-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})\text{OH} + \text{NH}_3 \longrightarrow \text{R}-\text{C}_5\text{H}_4\text{N}-\text{R} + \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$
- (4) $\begin{array}{c} \text{CH} \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH} \\ | \\ \text{CH} \\ | \\ \text{C}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{N}-\text{OH} \end{array} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5-\text{C}_5\text{H}_4\text{N}-\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$



二、煤焦油的组成和性质

煤焦油的组成和物理性质波动范围大，这主要取决于炼焦煤的组成和炼焦操作的工艺条件。所以，对于不同的焦化厂来说，各自生产的煤焦油质量和组成是有差别的。但煤焦油产品应符合 YB/T 5075—2010 的规定，见表 1-2。

表 1-2 煤焦油的技术指标 (YB/T 5075—2010)

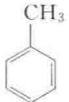
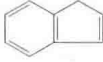
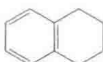
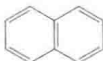
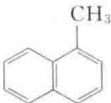
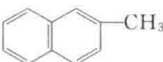
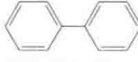
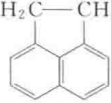
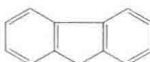
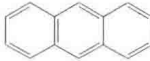
指 标 名 称	指 标	
	1 级	2 级
密度(20℃)/(g/cm ³)	1.15~1.21	1.13~1.22
水分/%	≤3.0	≤4.0
灰分/%	≤0.13	≤0.13
黏度(E ₈₀)	≤4.0	≤4.2
甲苯不溶物(无水基)/%	3.5~7.0	≤9.0
萘含量(无水基)/%	≥7.0	≥7.0

1. 煤焦油的化学组成

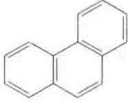
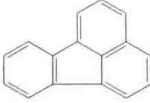
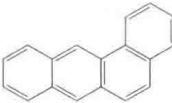
组成煤焦油的主要元素中，碳占 90% 以上，氢占 5%，此外还含有少量的氧、硫、氮及微量的稀有金属等。

高温煤焦油主要是芳香烃所组成的复杂混合物，其组分大约有上万种，目前已查明的约 500 种，其中某些化合物含量甚微，含量在 1% 左右的组分只有 10 多种。表 1-3 列出了煤焦油中主要组分的含量及性质。

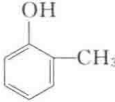
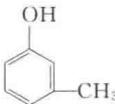
表 1-3 高温煤焦油中主要组分的含量及性质

名 称	[分子式] 结构式	(分子量)	相对密度 d_4^{20}	沸点 (101325Pa)/℃	熔点/℃	占焦油质量 分数/%
烃 类 化 合 物						
苯	[C ₆ H ₆] 	(78.11)	0.8789	80.09	5.53	0.12~0.15
甲苯	[C ₆ H ₅ CH ₃] 	(92.14)	0.8669	110.63	-94.97	0.18~0.25
二甲苯	[C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂]	(106.17)	—	—	—	0.08~0.12
苯的高级同系物	—	—	—	—	—	0.8~0.9
茚	[C ₉ H ₈] 	(116.16)	0.9960	182.44	-2	0.25~0.3
四氢化萘	[C ₁₀ H ₁₂] 	(132.21)	0.9695	207.65	-35.75	0.2~0.3
萘	[C ₁₀ H ₈] 	(128.17)	(1.145)	217.99	80.29	8~12
α-甲基萘	[C ₁₁ H ₁₀] 	(142.20)	1.02028	244.6	-30.6	0.8~1.2
β-甲基萘	[C ₁₁ H ₁₀] 	(142.20)	(1.029)	241.1	34.58	1.0~1.8
二甲基萘及同系物	—	—	—	—	—	1.0~1.2
联苯	[C ₁₂ H ₁₀] 	(154.21)	(1.180)	255.2	69.2	0.30
茚	[C ₁₂ H ₁₀] 	(154.21)	1.0242 (99℃)	278	93	1.2~1.8
芴	[C ₁₃ H ₁₀] 	(166.22)	(1.208)	294	116	1.0~2.0
蒽	[C ₁₄ H ₁₀] 	(178.23)	(1.251)	340.7	216.04	1.2~1.8

续表

名 称	[分子式]	结构式	(分子量)	相对密度 d_4^{20}	沸点 (101325Pa)/℃	熔点/℃	占焦油质量 分数/%
菲	[C ₁₄ H ₁₀]		(178.23)	1.058 (100℃)	338.4	99.15	4.5~5.0
甲基菲	[C ₁₅ H ₁₂]		(192.26)	—	349~358.6	55~119	0.9~1.1
荧蒽	[C ₁₆ H ₁₀]		(202.26)	(1.236)	375	109.0	1.8~2.5
芘	[C ₁₆ H ₁₀]		(202.26)	1.096 (150.2℃)	394.8	150.2	1.2~1.8
苯并芴	[C ₁₇ H ₁₂]		(216.28)	—	—	—	1.0~1.1
蒽	[C ₁₈ H ₁₂]		(228.29)	(1.274)	441	258	0.65
1,2-苯并蒽	[C ₁₈ H ₁₂]		(228.29)	—	437.6	160.4	0.68

含 氧 化 合 物

苯酚	[C ₆ H ₅ OH]		(94.11)	1.0659 (30℃)	181.84	40.9	0.2~0.5
邻甲酚	[C ₆ H ₄ CH ₃ OH]		(108.14)	1.035 (35℃)	191.5	30	0.4~0.8
间甲酚	[C ₆ H ₄ CH ₃ OH]		(108.14)	1.034	202	11.5	
对甲酚	[C ₆ H ₄ CH ₃ OH]		(108.14)	1.0341	202.5	36.0	

续表

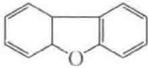
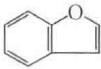
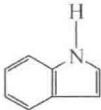
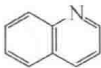
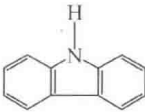
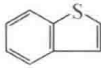
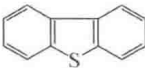
名 称	[分子式]	结构式	(分子量)	相对密度 d_4^{20}	沸点 (101325Pa)/℃	熔点/℃	占焦油质量 分数/%
二甲酚	[C ₆ H ₃ (CH ₃) ₂ OH]		(122.17)	—	203~225	27.5~75	0.3~0.5
高沸点酚		—		—	—	—	0.75~0.95
氧芴	[C ₁₂ H ₈ O]		(168.19)	(1.168)	287	82.7	0.6~0.8
古马隆(苯并呋喃或香豆酮)	[C ₈ H ₆ O]		(118.14)	1.0776	173~174	<-18	0.04
苯并氧芴	[C ₁₆ H ₁₀ O]		(218.26)	—	—	—	0.5~0.7
* 含 氮 化 合 物							
吡啶及其同系物		—		—	—	—	0.1~0.11
吲哚	[C ₈ H ₇ N]		(117.15)	1.22	253	53	0.10~0.16
喹啉	[C ₉ H ₇ N]		(129.16)	1.093	237.7	-15.2	0.18~0.25
喹啉同系物		—		—	—	—	0.20~0.22
其他盐基物		—		—	—	—	0.7~0.8
咔唑	[C ₁₂ H ₉ N]		(167.21)	1.1035	354.76	244.8	1.5
含 硫 化 合 物							
硫杂茚	[C ₈ H ₆ S]		(134.20)	1.165	221	32	0.4
硫杂芴	[C ₁₂ H ₈ S]		(184.26)	—	331.4 332~333	99 97	0.35

表 1-2 所列化合物中烃类化合物均呈中性。含氧化合物主要为酸性的酚类及少量的中性化合物（如氧芴、古马隆等）。含氮化合物中，含氮杂环的氮原子上有氢原子与之相连时呈中性（如咔唑、吲哚等），无氢原子与之相连时呈碱性（如吡啶、喹啉）。含硫化合物皆呈中性。煤焦油中不饱和化合物含量虽少，但为有害成分，易聚合形成煤焦油渣。

由表 1-2 中沸点可看出各组分存在于哪些馏分中；熔点可作为鉴定精制产品纯度的指标；各组分在煤焦油中的平均含量可说明它们是否值得提取和利用。

2. 煤焦油的理化性质

煤焦油是煤在干馏和气化过程中获得的液态产品。根据干馏温度和方法的不同可得到以下几种焦油：

- ① 低温（450～650℃）干馏焦油；
- ② 低温和中温（600～800℃）干馏焦油；
- ③ 中温（900～1000℃）立式炉焦油；
- ④ 高温（1000℃）炼焦焦油。

以上四种焦油均为具有刺激性臭味的黑色或黑褐色的黏稠状液体，统称焦油。高温炼焦焦油的性质如下：

闪点为 96～105℃，自燃点为 580～630℃，燃烧热为 35700～39000kJ/kg。

煤焦油在 20℃ 的密度为 1100～1250kg/m³，其值随温度升高而降低。在 20℃ 以上时的密度可按式（1-1）确定：

$$d_t = d_{20} - 0.007(t - 20) \quad (1-1)$$

式中， d_{20} 为焦油在 20℃ 的密度； t 为实测密度时的温度。

煤焦油在不同温度范围的比热容：25～100℃ 为 1.650kJ/(kg·℃)；25～137℃ 为 1.729kJ/(kg·℃)；25～184℃ 为 1.880kJ/(kg·℃)；25～210℃ 为 2.1kJ/(kg·℃)。也可按式（1-2）确定：

$$c_t = 1/d_{15}(1.419 + 0.00519t) \quad (1-2)$$

式中， c_t 为比热容，kJ/(kg·℃)； d_{15} 为焦油在 15℃ 的相对密度； t 为温度，℃。

煤焦油的蒸发潜热 λ (kJ/kg) 可用式（1-3）计算：

$$\lambda = 494.1 - 0.67t \quad (1-3)$$

煤焦油的表面张力 σ (N/m) 可按式（1-4）计算：

$$\sigma_t = \sigma_{t_1} - 0.00009(t - t_1) \quad (1-4)$$

式中， σ_t 为实测温度下的表面张力，N/m； t 为实测温度。

煤焦油的黏度多采用恩式黏度，即在一定温度下，液态焦油从恩式黏度计中流出 200mL 所需时间 (s) 与水在 20℃ 时流出 200mL 所需时间 (s) 的比值，用 E_t 表示。一般煤焦油的恩式黏度：40℃ 时为 20～30 E_t ；80℃ 时为 3～5 E_t ；150℃ 时为 1～2 E_t 。

煤焦油馏分相对分子质量可按式（1-5）计算：

$$M = \frac{T_K}{B} \quad (1-5)$$

式中， M 为煤焦油馏分分子量； T_K 为蒸馏馏出 50% 时的温度，K； B 为系数，对于洗油、酚油馏分为 3.74，对于其余馏分为 3.80。

煤焦油的分子量可按各馏分进行加和计算确定。煤焦油、煤焦油馏分和煤焦油组分的理化性质参数也可查阅有关物性数据方面的专著。

第三节 影响煤焦油成分的因素及煤焦油各种馏分的产品

一、影响煤焦油成分的因素

初煤焦油的性质与原料煤的性质有明显的依赖关系，而高温煤焦油是二次热解的产物，这种依赖关系已消失。

- ① 高温煤焦油的组成和性质主要依赖于煤料在炭化室内的热解程度。热解程度取决于