

• 褐煤高效清洁综合利用 •

HEMEI GAOXIAO QINGJIE ZONGHE LIYONG

褐煤蜡

HE MEI LA

张 敔 向 诚 等著



冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

清洁综合利用

HEMEI GAOXIAO QINGJIE ZONGHE LIYONG

褐煤蜡

张 救 向 诚 等著

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书系统地论述了褐煤蜡研究、生产的整体过程。主要包括煤炭与褐煤、褐煤的组成、褐煤的干燥、褐煤蜡萃取原理、褐煤蜡萃取工艺、褐煤蜡脱树脂和地沥青、褐煤蜡精制、合成蜡制备、粗褐煤蜡的组成及理化性质、浅色蜡的组成及理化性质、褐煤树脂的组成及理化性质、褐煤蜡系列产品的应用、褐煤蜡质量指标及分析检验等内容。

本书可供化工行业及资源综合利用领域的科研人员、企业工程技术人员阅读,也可供大专院校有关师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

褐煤蜡/张敕等著. —北京:冶金工业出版社, 2018.9

(褐煤高效清洁综合利用)

ISBN 978-7-5024-7843-8

I. ①褐… II. ①张… III. ①褐煤蜡—研究 IV. ①TQ523.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 194365 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 卢 敏 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7843-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 9 月第 1 版, 2018 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 26 印张; 625 千字; 395 页

89.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

编委会

主审兼顾问 李宝才

委员（按姓氏汉语拼音排列）

戴伟锋 何 静 角仕云 秦 谊

任万云 孙淑和 吴奇虎 向 诚

曾天柱 张惠芬 张 救

序 言

首先感谢本书作者聘请我为该书的主审及编写顾问。

因为我至今人生 60 年的生涯中，几乎有一半以上的时间都是与褐煤蜡打交道，到底是褐煤蜡找到了我，还是我找到了褐煤蜡，还真的说不清楚。

褐煤蜡，我一听到就感到亲切、一看到就觉得可爱。正如编者前言中所说的那样，褐煤蜡是无致癌作用的安全蜡，而且未来几年内，德国很有可能受原料限制而让出其现有褐煤蜡市场份额的一半，甚至更多。

认真审阅该书之后发现，作者真的花了不少心思、费了不少心血。全书内容全面、系统而完整，涵盖了褐煤蜡研究、生产的全过程：从原料到产品，一气呵成，一线贯通；有工艺有说明，有性质有组成；有引用有评论，有建议有创新；有传统工艺，有最新技术。这是一部“融褐煤蜡信息于一本、纳褐煤蜡数据于一书”的专著。整部专著配图 66 张、表格 225 个，再加上文字信息，可以说是一书在手，褐煤蜡信息十不离九。

认真审阅该书之后，有以下几点体会：

第一，该书作者是在用心写书。如第一章中的图 1-1 和图 1-2（富蜡褐煤高效清洁综合利用最佳途径细化示意图），那简直就是站在庐山之外——国际化的视野。如果作者不是用心写书、胸怀天下，他们不可能公开这样的秘密武器。

第二，该书作者是在为天下苍生写书。该书作者从头到尾、自始至终一直强调褐煤高效清洁综合利用的重要性，一方面适当放慢煤炭开采增长速度，另一方面褐煤高效清洁综合利用，双管齐下，自然就能缓解我国煤炭资源的枯竭速度。如果作者不是为天下苍生写书，他们何须管你煤炭枯竭不枯竭？

第三，该书作者是在为未来褐煤蜡厂写书。作者在该书中至少 3 次谈到我国已经停产关门的 4 个褐煤蜡生产厂，并分析了这些褐煤蜡生产厂停产关门的原因。例如，他们说吉林舒兰和内蒙古翁牛特旗两个褐煤蜡生产厂停产关门的主要原因是原料褐煤含蜡量太低（大约 3%）。如果作者不是为未来褐煤蜡厂写书，他们何须揭前人之短以供后人为镜？你要建厂尽管建，停产关门，自认

倒霉！

我是理科出身，但从本书中看到了什么叫工程。想说的内容很多，但认真想想，还是留给读者去看——书中自有黄金屋。

一句话，该书是从工程的角度看工程，比起从科研的角度看工程，其视野要广很多，这也许就是理与工的差别。读者如果不相信，请看看他们写的前言与绪论，就知道作者为什么把“褐煤组成成分分离示意图（物质层面）”和“褐煤蜡族组分分离示意图（物质层面）”作为绪论9张图中的最后两张的用意。



2018年2月28日

前 言

褐煤蜡是用各种有机溶剂从含蜡质的原料（褐煤、柴煤和泥炭）中萃取所得的各种蜡的总称。

褐煤蜡是无致癌作用的天然植物蜡（也可以说是矿物蜡），国外称其为蒙旦蜡（Montan Wax）。褐煤蜡物质层面上的组成是蜡质主体、树脂和地沥青三大部分，所以，它是由 1000 多种化合物单质组成的一种复杂混合物。

褐煤蜡具有良好的理化性能：熔点高、光泽度高、耐湿性好、绝缘性好、机械强度高，对酸和其他活性有机溶剂的化学稳定性好，在有机溶剂中可溶性好，能与石蜡、硬脂酸、蜂蜡、地蜡等熔合成稳定的组织结构（可提高混合物的熔点）。因此，褐煤蜡被广泛地应用于电气工业、精密铸造工业、印刷工业、擦亮工业和复写纸工业等几十个行业领域。另外，据美国和德国报道，褐煤蜡是无致癌作用的安全蜡，因此，它还广泛应用于医药、食品及日用化工领域，并且还在不断开拓一些新的应用领域，如航空航天、电子电讯、打印复印等。现在褐煤蜡作为价格昂贵的天然植物蜡卡那巴蜡——巴西棕榈蜡的代用品和补充品，已经应用到国民经济所有用蜡行业领域，它是国计民生中一种不可缺少的重要化工产品。

我国褐煤蜡研究与生产已经有近 50 年历史。但是，20 世纪 60 年代后期至 20 世纪末相继在云南寻甸和濂浒、吉林舒兰、内蒙古翁牛特旗建成的 4 个褐煤蜡生产厂，先后都停产关门了。到现在，只有 2014 年建于云南玉溪峨山的一家褐煤蜡生产厂还在断断续续地生产。

因此，人们迫切需要一部专著，一部“容褐煤蜡信息于一本、纳褐煤蜡数据于一书”的专著。一方面，寻找上述几家褐煤蜡厂停产的原因；另一方面，全面总结国内外研究成果及其实际应用情况。由于受到环境因素的影响和政府能源政策调整的限制，据编者预计未来几年内，德国很有可能让出其现有褐煤蜡市场份额的 50%（20000t）。

基于上述宗旨，我们课题组根据多年褐煤蜡研究实践的经验，在查阅国内外大量相关文献资料，并参考叶显彬、周劲风两位前辈编著的《褐煤蜡化学及

应用》一书的基础上写成此书。

本书内容包括褐煤蜡研究生产的全过程，包括：煤炭与褐煤、褐煤的组成、褐煤的干燥、褐煤蜡萃取原理、褐煤蜡萃取工艺、褐煤蜡脱树脂和地沥青、褐煤蜡精制、合成蜡制备、褐煤蜡的组成及理化性质、浅色蜡的组成及理化性质、褐煤树脂的组成及理化性质、褐煤蜡系列产品的应用、褐煤蜡质量指标及分析检验（GB/T 2559—2005《褐煤蜡测定方法》11个指标的试验测定方法和MT/T 239—2006《褐煤蜡技术条件》），以及实用统计分析与试验设计。

本书有6个人编写，由张敕和向诚两位老师负责统筹，并特请李宝才教授为主审兼顾问。其中，张敕老师编写第10~14章共5章，向诚老师编写第5~8章共4章，戴伟锋老师编写第3章、第4章共2章，秦谊老师编写第2章、第9章共2章，角仕云老师编写第15章、前言和导论，并统稿。本书统稿完成之后，李宝才教授认真地审阅了本书并为本书撰写序言。

在本书公开出版之时，编者特向《褐煤蜡化学及应用》一书的编者叶显彬和周劲风两位前辈、认真审订本书并为本书撰写序言的李宝才教授、本书中引用到的那些论文的所有作者，表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，时间仓促，书中不当之处，切盼不吝指正为要。

编写小组

昆明理工大学生命科学与技术学院

2018年3月

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 褐煤高效清洁综合利用途径的优化	2
1.3 褐煤蜡萃取及脱树脂和地沥青	3
1.4 浅色精制蜡及合成蜡	5
1.5 褐煤蜡系列产品组成	5
1.6 褐煤蜡系列产品质量标准	5
参考文献	7
2 煤炭与褐煤	9
2.1 褐煤的成因、主要组成	9
2.2 世界富蜡褐煤资源概况	11
2.3 中国富蜡褐煤资源概况	14
2.3.1 总体情况	14
2.3.2 中国探明地质储量 10 亿吨以上的褐煤煤田简介	15
2.3.3 中国已探明和未探明褐煤地质储量前三名	16
2.4 国外褐煤蜡工业发展概况	17
2.5 中国褐煤蜡工业发展概况	18
2.6 中国煤炭资源分布新格局	19
2.6.1 煤炭	19
2.6.2 中国不同成煤期的煤炭资源特点	21
2.6.3 中国煤炭资源中不同成煤期的煤所占的地位	22
2.6.4 中国已经探明地质储量 10 亿吨以上的 70 个大煤田简介	22
2.6.5 中国已经探明煤炭地质储量全国前 10 名	26
2.6.6 中国尚未探明的煤炭预测地质储量	27
2.6.7 中国主要煤炭资源大省区简介	28
2.6.8 中国的煤炭资源可挖年限	29
2.7 中国褐煤资源分布新格局	30
2.7.1 中国褐煤资源的形成时代	30
2.7.2 中国褐煤资源的地质勘探状况和煤层赋存情况	30

2.7.3	中国各大区褐煤资源的分布概况	31
2.7.4	中国各省(市、自治区)褐煤资源的分布	31
2.7.5	内蒙古自治区褐煤资源简介	31
参考文献		34
3	褐煤的组成	36
3.1	概述	36
3.2	昭通褐煤煤田褐煤物质层面上的组成	38
3.2.1	富含褐煤蜡煤区的筛选	38
3.2.2	昭通褐煤蜡的物理化学性质	40
3.2.3	结论	41
3.3	宝清褐煤煤田褐煤物质层面上的组成	41
3.3.1	宝清褐煤含蜡量的原始数据	41
3.3.2	宝清褐煤的理化性质	43
3.3.3	关于宝清褐煤生产褐煤蜡的结论	44
3.4	褐煤中苯总提物的估算	45
3.4.1	中国褐煤蜡资源分布特征	45
3.4.2	褐煤蜡含量 E_b^T 与成煤时代的关系	46
3.4.3	结论	46
3.5	云南褐煤蜡初探	47
3.5.1	褐煤蜡在煤层中的分布概况	47
3.5.2	褐煤蜡与煤中的氢的相关关系	48
3.5.3	褐煤蜡贫富变化的控制因素	49
3.5.4	结束语	51
3.6	内蒙古赤峰市丹峰煤田褐煤物质层面上的组成	51
3.7	褐煤分子水平层面上的组成	52
3.7.1	烃类化合物	52
3.7.2	含氧化合物	53
3.7.3	含氮有机物	56
3.7.4	含硫有机物	57
3.7.5	含卤素的有机物	57
3.7.6	结束语	58
参考文献		58
4	褐煤的干燥	62
4.1	概述	62
4.2	国内外褐煤干燥技术简介	63
4.2.1	国外褐煤干燥技术	63

4.2.2 国内典型的褐煤干燥提质技术	66
4.2.3 褐煤干燥提质技术比较	67
4.3 褐煤干燥特性	68
4.3.1 试验	69
4.3.2 结果与分析	70
4.4 结语	73
参考文献	74
5 褐煤蜡萃取	76
5.1 概述	76
5.2 溶剂萃取	76
5.2.1 溶剂萃取	76
5.2.2 萃取溶剂的选择	77
5.2.3 溶剂萃取流程和段数 (或级数)	80
5.3 褐煤蜡萃取原理	80
5.4 萃取工艺条件的选择	81
5.4.1 萃取剂的选择	81
5.4.2 煤料粒度	86
5.4.3 萃取时间	86
5.4.4 温度和压力	87
5.5 备煤工艺途径简介	87
5.6 褐煤蜡萃取研究进展	88
5.6.1 粉状褐煤流化萃取褐煤蜡工艺开发研究	88
5.6.2 昭通褐煤制取褐煤蜡的研究	92
5.6.3 粗苯制取溶剂苯生产褐煤蜡	93
5.6.4 超临界萃取法提取褐煤蜡的初步研究	97
5.6.5 舒兰褐煤蜡萃取工艺条件的研究	99
5.6.6 舒兰褐煤蜡萃取溶剂的研究	105
5.6.7 用非苯溶剂从稔子坪煤中萃取褐煤蜡	105
5.6.8 富蜡褐煤化学脱灰及其对萃取的影响	107
5.6.9 云南褐煤提取褐煤蜡的新工艺	114
5.6.10 石油醚提取褐煤蜡的条件选择及优化	118
5.6.11 乙酸乙酯提取褐煤蜡的试验研究	118
5.6.12 褐煤蜡的提取工艺考察研究	121
5.6.13 褐煤粒度和含水量对萃取率影响	123
5.6.14 结束语	124
参考文献	125

6 褐煤蜡萃取工艺	127
6.1 概述	127
6.2 备煤工艺	127
6.3 褐煤蜡萃取间歇生产工艺	128
6.4 褐煤蜡萃取连续生产工艺	129
6.5 萃取褐煤蜡后的残煤利用	132
6.6 其他现代萃取工艺	133
参考文献	134
7 褐煤蜡脱树脂和地沥青	135
7.1 概述	135
7.2 粗褐煤蜡脱树脂	136
7.2.1 各种有机溶剂的脱树脂效率	137
7.2.2 粗褐煤蜡用苯脱树脂时各组分的平衡关系	140
7.2.3 苯-树脂-褐煤蜡体系的传质过程	141
7.2.4 粗褐煤蜡脱树脂工艺	144
7.3 粗褐煤蜡脱地沥青	145
7.4 低树脂、低地沥青含量褐煤蜡的生产	145
7.5 褐煤蜡脱树脂研究进展	147
7.5.1 室温下以苯萃取粗褐煤蜡的脱脂试验	147
7.5.2 冷却结晶法脱除粗褐煤蜡中树脂的研究	151
7.5.3 黑龙江褐煤蜡及褐煤蜡树脂成分的化学成分研究	153
参考文献	157
8 褐煤蜡精制	158
8.1 概述	158
8.2 粗褐煤蜡的提质加工方法简介	158
8.3 浅色精制蜡生产工艺技术	159
8.3.1 铬酸法	160
8.3.2 重铬盐法(红矾法)	160
8.4 浅色精制蜡生产工艺流程	161
8.4.1 改进的传统褐煤蜡一段氧化精制工艺	161
8.4.2 改进的传统褐煤蜡两段氧化精制工艺	163
8.4.3 前民主德国的连续铬酸-硫酸精制褐煤蜡新工艺	163
8.5 浅色精制蜡研究进展	164
8.5.1 浅色褐蜡煤	164
8.5.2 褐煤蜡精制方法研究	170
8.5.3 用舒兰褐煤制取浅色硬质褐煤蜡	173

8.5.4 褐煤蜡氧化精制的研究	175
8.5.5 褐煤蜡的工业制备及精制技术	180
8.5.6 过氧乙酸与过氧化氢组合漂白研究进展	185
8.5.7 脱树脂褐煤蜡的氧化漂白新工艺	188
8.5.8 褐煤蜡的精制及应用研究	189
8.5.9 褐煤蜡脱树脂及其氧化精制	191
8.5.10 褐煤蜡的氧化精制新工艺及其质量测评新方法研究	191
参考文献	192

9 合成蜡制备 196

9.1 概述	196
9.1.1 酯化反应和皂化反应	196
9.1.2 合成蜡制备	197
9.2 合成蜡型号及理化指标	197
9.3 合成蜡的生产工艺	198
9.3.1 S 蜡制备	198
9.3.2 OP 蜡制备	200
9.3.3 O 蜡制备	200
9.3.4 E 蜡制备	200
9.3.5 KP 蜡制备	200
9.3.6 KPS 蜡制备	200
9.3.7 CR 蜡制备	200
9.4 合成蜡的性能及应用	201
9.4.1 S 蜡	201
9.4.2 O 蜡与 OP 蜡	201
9.4.3 E 蜡	201
9.4.4 KP 蜡与 KPS 蜡	202
9.4.5 CR 蜡	202
9.5 浅色蒙旦蜡的加工进展	202
9.5.1 概述	202
9.5.2 蒙旦蜡的精制与漂白	202
9.5.3 蒙旦蜡的改性	205
9.5.4 结束语	207
参考文献	208

10 粗褐煤蜡的组成及理化性质 210

10.1 概述	210
10.2 国外褐煤蜡的化学组成及理化性质	210

10.3	我国褐煤蜡的化学组成及理化性质	216
10.4	煤蜡的组成及理化性质研究进展	221
10.4.1	广东遂溪泥煤蜡和云南寻甸褐煤蜡的化学组成研究	221
10.4.2	泥炭褐煤蜡的化学组成	225
10.4.3	阴离子交换色谱和硅胶柱色谱法用于褐煤蜡族组成的分离	229
10.4.4	蒙旦蜡化学组成的研究	233
10.4.5	褐煤蜡族组成中正构物碳数及含量分布	245
10.4.6	舒兰褐煤蜡的性质和组成的研究	249
10.4.7	黄县褐煤萃取物的芳烃组成和热演化历史	252
10.4.8	黑龙江褐煤蜡及褐煤蜡树脂成分的化学成分研究	252
	参考文献	256
11	浅色蜡的组成及理化性质	259
11.1	概述	259
11.2	粗褐煤蜡的理化性质	259
11.3	浅色蜡的组成及理化性质研究进展	264
11.3.1	精制褐煤蜡的化学组成及其研究方法	264
11.3.2	我国精制褐煤蜡的基本性质	267
11.3.3	宝清褐煤精制蜡化学成分分析	269
	参考文献	271
12	褐煤树脂的组成及理化性质	273
12.1	概述	273
12.2	褐煤蜡树脂中多环芳烃组成的研究	273
12.2.1	综述	273
12.2.2	试验	274
12.2.3	结果和讨论	274
12.3	褐煤蜡中树脂组分的化学研究——生物标志化合物	277
12.3.1	综述	277
12.3.2	试验	278
12.3.3	结果和讨论	278
12.4	褐煤树脂中游离酸的化学组成与结构特征	280
12.4.1	试验部分	281
12.4.2	结果与讨论	281
12.5	褐煤树脂醇类化学组成与分布特征	286
12.5.1	试验部分	287
12.5.2	结果与讨论	288
12.6	舒兰褐煤树脂组分中某些分离物的化学研究	292

12.6.1 试验	293
12.6.2 结果和讨论	293
12.7 云南昭通褐煤树脂物化学组成与分布特征	294
12.7.1 试验部分	294
12.7.2 结果与讨论	295
12.8 褐煤树脂中结合酸的化学组成与结构特征	298
12.8.1 试验部分	299
12.8.2 结果与讨论	299
12.9 云南蒙旦树脂化学成分的对比研究	304
12.10 云南峨山褐煤蜡树脂化学成分研究	304
12.10.1 试验仪器与材料	305
12.10.2 提取与分离	305
12.10.3 结构鉴定	306
12.10.4 讨论	306
12.11 宝清褐煤蜡树脂应用初探	307
12.11.1 概述	307
12.11.2 宝清褐煤蜡树脂气质谱图及气质分析结果	308
12.11.3 宝清褐煤蜡树脂定量分析	309
12.12 褐煤树脂研究进展与本章结束语	312
12.12.1 褐煤树脂研究进展述评	312
12.12.2 本章结束语	313
参考文献	314
13 褐煤蜡系列产品的应用	317
13.1 概述	317
13.2 褐煤蜡在工业中的应用	318
13.2.1 上光增亮蜡制品	318
13.2.2 复写纸	321
13.2.3 电线、电缆	322
13.2.4 铁绑线	322
13.2.5 配偶补偿线	323
13.2.6 熔模精密铸造的蜡料	323
13.2.7 道路沥青添加剂	325
13.2.8 橡胶添加剂	326
13.2.9 混凝土的内部密封剂	326
13.2.10 作加工助剂的褐煤蜡乳化液	326
13.2.11 混凝土构件的脱模剂	326
13.3 褐煤蜡系列产品应用综述	327

13.3.1	褐煤蜡在精密铸造中的应用	327
13.3.2	蒙旦树脂作为固体软化——增黏剂在轮胎胶料中的应用	329
13.3.3	德国浅色褐蜡煤的性质和应用	332
13.3.4	国内外特种蜡公司的发展及特种蜡开发方向	333
	参考文献	337
14	褐煤蜡质量指标及分析检验	338
14.1	概述	338
14.2	粗褐煤蜡的质量要求和质量指标	339
14.3	GB/T 2559—2005 褐煤蜡测定方法及说明	340
14.4	MT/T 239—2006 褐煤蜡技术条件	361
14.5	GB/T 1575—2001 褐煤的苯萃取物产率测定方法	362
14.6	GB/T 483—2007 煤炭分析试验方法一般规定	363
	参考文献	364
15	实用统计分析与试验设计	365
15.1	概述	365
15.1.1	数据处理技术所包含的内容	365
15.1.2	学习数据处理技术的重要意义	365
15.2	一元线性最小二乘法	366
15.2.1	问题的提出	366
15.2.2	一元线性最小二乘法的算法概述	367
15.2.3	一元线性回归方差分析——显著性检验	368
15.2.4	一元线性最小二乘法通用程序设计	369
15.2.5	应用实例分析	370
15.3	多元线性最小二乘法	371
15.3.1	算法概述	371
15.3.2	多元线性最小二乘法的方差分析	372
15.3.3	多元线性回归分析通用程序设计	372
15.3.4	应用实例分析	375
15.4	非线性最小二乘法简介	376
15.4.1	指数回归分析	377
15.4.3	几何回归分析通用程序	379
15.4.3	多项式 (N 阶) 回归分析	381
15.4.4	非线性回归的一个特殊例子	383
15.5	单因素试验优化设计——0.618	387
15.5.1	什么叫优选法	387
15.5.2	已经公开发表优选法	388

15.5.3 黄金分割法——0.618 法	388
15.6 多因素试验优化设计——正交试验设计	389
15.6.1 正交试验设计的概念及原理	389
15.6.2 正交表及基本性质	391
15.6.3 正交试验设计的基本程序	392
15.6.4 常用正交表	392
15.6.5 正交试验数据处理的说明	393
15.7 统计分析的显著性检验	394
参考文献	395