

石油产品应用技术

· 欧 风 编著

烃 加 工 出 版 社

内 容 提 要

本书以节约能源和维护机械为目标,从正确选用石油产品、合理使用机械设备,以发挥石油产品的最大作用,延长机械设备的耐用寿命,为四化建设取得最大的效益出发,全面介绍了石油产品使用性能、选用要领及管理方法,广泛搜集了当前国内外最新资料,重点论述了石油燃料和燃烧、机械润滑和润滑油脂及添加剂等。全书共分14章,除一般基础理论外,对各种石油产品,包括石蜡、沥青以及合成油脂等都有较详尽的论述。书后并附有各种常用换算图表,以供查阅。

本书可供各行各业与石油燃料以及各种机械设备润滑有关之技术人员、研究人员、教学人员、学员、干部及工人学习参考之用。

0751/20

石油产品应用技术

欧 风 编著

*

烃加工出版社出版

(北京安外大街33号)

交通印刷厂排版

通县振兴印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 52张印张 1330千字 印1—1,570

1986年7月北京新1版 1986年7月北京第1次印刷

书号: 15391·49 定价: 6.00元

科技新书目: 129—178

序

石油产品，由于其能流密度大、环境污染少、及其液相物态在运输、使用上的便利等优越性，已广泛应用于工业、农业、交通、电力、以及国防民需等部门。其用途不仅限于能源构成方面，而且向工业原材料方面发展，并正在不断开拓应用新领域。在某些用途上，还具有不可代替性，或很难加以替代。

石油是非再生能源，储量有限，用一点，少一点。因此，如何用好宝贵的石油产品，提高其应用效率，使石油产品利用最佳化，最大限度地节约石油资源，已成为当务之急。为此，在对石油产品性能的了解，品种的选择和运用中，随时需要查找一些较系统的有关知识和参考数据，才能达到合理使用石油产品、最优应用能源的目的。本书的出版，必将有助于满足这方面的要求。

本书作者曾在原“全国石油产品规格审查委员会”任职多年，一直从事石油产品的标准化和应用技术方面的组织和科研工作，对石油产品应用技术具有较丰富的知识和经验。

本书编写时间颇长，并不断收集国内外有关资料，作过多次修订和增补，脱稿前又作过新资料的补充，因此，内容颇为完善，是一部石油产品应用技术有水平的著作。故乐于为之介绍，望能早日付梓，俾能在四化进程中及时发挥其效益。

石油化工科学研究院总工程师 赵宗燠
中国科学院学部委员

一九八二年四月

前 言

石油是重要的能源之一，我多年从事石油产品工作，深知石油产品对整个国民经济影响极广，而对其合理、正确地使用，对节约能源和维护设备，以及促进生产、提高效率都具有重要意义。因而深感必须向用油和管油的工作人员介绍石油产品性能，和正确、合理用油的技术知识。为此，积数十年之实践经验和研究成果，并搜集国内外有关文献资料，写成此书，以期对石油产品的合理、正确使用、节约能源、维护设备、提高效益有所贡献。

本书在编写过程中曾引用了原全国石油产品规格审查委员会及一些有关单位积累和研究的资料，并受到各方面专家的有益指教和支持，特别是对本书审阅并给予作序的石油化工科学研究院赵宗燠总工程师，对本书审阅并推荐出版的石油工业部科技情报研究所顾问唐海同志，对本书有关章节审校的中国人民解放军总后勤部油料部高级工程师卢绍熠同志等油料技术专家，和担任本书编辑审校工作的同志们一并致以衷心的感谢。

由于作者水平和写作条件所限，错误和不足之处，在所难免，敬请各方面同志不吝指教。

欧 风

1982年5月于北京

目 录

第1章 绪 论

1.1 石油及人造石油原料的成因.....	1
1.1.1. 石油的成因.....	1
1.1.2. 油母页岩的成因.....	1
1.1.3. 煤炭的成因.....	2
1.2 石油的组成及理化性质.....	2
1.2.1. 烷烃(石蜡属烃).....	2
1.2.2. 环烷烃.....	5
1.2.3. 芳烃.....	5
1.2.4. 不饱和烃.....	8
1.2.5. 氧化物.....	8
1.2.6. 硫化物.....	10
1.2.7. 氮化物.....	11
1.3 石油的分类.....	12
1.4 石油产品理化性能指标在 使用上的意义.....	13
1.4.1. 密度(或比重).....	14
1.4.2. 馏程.....	14
1.4.3. 粘度.....	14
1.4.4. 凝点(与倾点或流点).....	18
1.4.5. 浊点和结晶点(或冰点).....	18
1.4.6. 闪点和燃点及自燃点.....	18
1.4.7. 硫含量.....	19
1.4.8. 酸度和酸值.....	19
1.4.9. 残炭(炭渣).....	19
1.4.10. 灰分.....	19
1.4.11. 腐蚀试验.....	20
1.4.12. 水溶性酸及碱.....	20
1.4.13. 机械杂质和水分.....	20
1.5 几种常用的石油加工方法及其 对产品质量的作用.....	21
1.5.1. 常减压蒸馏.....	21
1.5.2. 热裂化.....	22
1.5.3. 催化裂化.....	24
1.5.4. 烷基化.....	25
1.5.5. 催化重整.....	26
1.5.6. 烷基苯.....	27
1.5.7. 催化叠合.....	28

1.5.8. 异构化.....	28
1.5.9. 加氢裂化.....	29
1.5.10. 加氢精制.....	31
1.5.11. 酸碱精制.....	32
1.5.12. 溶剂抽提精制.....	33
1.5.13. 白土精制.....	34
1.5.14. 丙烷脱沥青.....	34
1.5.15. 冷冻脱蜡.....	35
1.5.16. 溶剂脱蜡.....	35
1.5.17. 尿素脱蜡.....	36
1.5.18. 分子筛脱蜡.....	37
1.6 石油产品生产、贮运、管理 和使用中的注意事项.....	38
1.6.1. 防火防爆.....	38
1.6.2. 防止吸入中毒.....	38
1.6.3. 防止感染疾病.....	39
1.7 石油产品的调合及配制.....	41
1.7.1. 燃料用油类的调合配制及计算法.....	41
1.7.2. 润滑油的调配.....	46
第2章 石 油 燃 料.....	60
2.1 液化石油气.....	60
2.1.1. 液化石油气的主要性质.....	60
2.1.2. 液化石油气重量和体积的换算.....	63
2.1.3. 液化石油气蒸发后蒸气 体积的计算.....	65
2.1.4. 液化石油气的用途和用法.....	65
2.2 汽 油.....	69
2.2.1. 汽油的燃烧性能及 理化指标的意义.....	69
2.2.2. 航空汽油.....	88
2.2.3. 车用汽油.....	89
2.2.4. 汽车耗油量及节约汽油.....	90
2.3 喷气发动机燃料(航空煤油).....	92
2.3.1. 喷气发动机的发展.....	92
2.3.2. 喷气发动机燃料的必要性质.....	92
2.3.3. 含裂化馏分的航空喷气燃料.....	95
2.4 煤 油.....	95
2.4.1. 拖拉机煤油.....	96

2.4.2.灯用煤油.....	96	3.5 液压传动装置与液压油.....	234
2.4.3.炉用煤油.....	97	3.5.1.液压油的能性要求.....	236
2.5 柴油(压缩式内燃机燃料).....	97	3.5.2.液压油与密封材料的适应性.....	240
2.5.1.柴油的燃烧性能及其理化		3.5.3.合成液压油.....	242
指标的意义.....	97	3.5.4.耐燃液压油.....	244
2.5.2.轻柴油(高速柴油机燃料).....	107	3.5.5.抗漏液压油及抗乳化液压油.....	245
2.5.3.重柴油(低、中速柴油机燃料).....	108	3.5.6.抗磨液压油.....	246
2.5.4.船用大型低速柴油机用燃料油.....	110	3.5.7.数字控制(NC)液压油.....	247
2.5.5.柴油使用过程中的问题、		3.6 其他机械组件的润滑及润滑油.....	248
原因及解决措施.....	118	3.6.1.链索的润滑.....	248
2.6 炉用燃料油(重油).....	118	3.6.2.钢丝绳的润滑.....	250
2.6.1.炉用燃料油的质量要求		3.6.3.螺旋(丝杠)的润滑.....	252
及其质量指标的意义.....	118	3.6.4.活塞环和气缸的润滑.....	253
2.6.2.燃料油的组分、性质及使用.....	121	3.6.5.凸轮的润滑.....	254
2.6.3.船用燃料油.....	122	3.6.6.弹簧的润滑.....	255
2.6.4.燃料油的选用.....	123	3.6.7.键销的润滑.....	255
2.6.5.燃气透平用燃料油.....	124	3.6.8.轴接头(轴关节)的润滑.....	256
第3章 润滑机理及润滑油(脂)选用的基础.....	128	3.6.9.离合器的润滑.....	257
3.1 摩擦与润滑的机理.....	128	3.6.10.皮带变速机构的润滑.....	258
3.1.1.摩擦与润滑.....	128	第4章 润滑油和机械润滑.....	259
3.1.2.摩擦与润滑的种类.....	129	4.1 常用润滑油生产工艺和性能.....	259
3.1.3.滑动轴承的润滑机理.....	134	4.1.1.石油系润滑油.....	259
3.1.4.滚动轴承的润滑机理.....	151	4.1.2.石油系合成润滑油.....	261
3.1.5.齿轮润滑机理.....	154	4.1.3.合成润滑油.....	264
3.2 轴承润滑及润滑油.....	158	4.1.4.乳化型润滑油.....	267
3.2.1.轴承用润滑油(脂)的选定.....	159	4.2 润滑油理化性能和使用的关系.....	268
3.2.2.滑动轴承用润滑油粘度的选定.....	161	4.2.1.油性和极压性.....	268
3.2.3.滚动轴承用润滑油(脂)的选定.....	170	4.2.2.粘度和粘温性(粘度指数).....	272
3.3 齿轮润滑及齿轮油.....	184	4.2.3.抗氧化性和耐热性.....	282
3.3.1.齿轮油的性能要求.....	184	4.2.4.凝点及倾点(流点).....	285
3.3.2.齿轮润滑油使用中的问题.....	189	4.2.5.闪点.....	285
3.3.3.齿轮油的分类.....	193	4.2.6.腐蚀试验和酸值及水溶性酸、碱.....	285
3.3.4.汽车、拖拉机齿轮油.....	193	4.2.7.残炭.....	286
3.3.5.工业齿轮油.....	202	4.2.8.灰分.....	286
3.3.6.自动变速器润滑油.....	206	4.2.9.抗乳化性和乳化性.....	286
3.3.7.齿轮润滑法和齿轮油的选定.....	206	4.2.10.抗泡沫性.....	287
3.4 导轨润滑及润滑油.....	218	4.2.11.防锈性.....	288
3.4.1.机械驱动导轨的摩擦振动		4.2.12.水分和机械杂质.....	288
(爬行).....	220	4.2.13.润滑油的常用添加剂含量.....	288
3.4.2.液压驱动导轨的摩擦振动		4.3 工业润滑油.....	289
(爬行).....	224	4.3.1.普通轻质润滑油.....	289
3.4.3.滑动台滑动面对摩擦振动的影响.....	229	4.3.2.普通中质润滑油.....	290
3.4.4.低行进速度的给定.....	231	4.3.3.普通重质润滑油.....	291
3.4.5.导轨润滑油的合适粘度.....	232	4.3.4.透平油(汽轮机油).....	293

4.3.5. 产业机械的润滑和节能	296	4.12.3. 动力机械用润滑油(脂)	402
4.3.6. 通用润滑油选用参考资料	302	4.12.4. 农具用润滑油(脂)	403
4.4 内燃机润滑油及内燃机润滑	305	4.12.5. 农副业机械用润滑油(脂)	405
4.4.1. 内燃机润滑油的性能要求	305	4.13 船舶用润滑油	406
4.4.2. 汽油机油	329	4.13.1. 船用柴油机润滑油	406
4.4.3. 柴油机油	334	4.13.2. 船用蒸汽透平润滑油	412
4.4.4. 内燃机油换油期的参考资料	339	4.13.3. 船用往复蒸汽机用润滑油	413
4.4.5. 各种发动机适用润滑油粘度	341	4.13.4. 船舶甲板机械用润滑油(脂)	414
4.4.6. 发动机故障和润滑油	341	4.14 工程建设机械润滑及润滑油(脂)	416
4.4.7. 航空发动机润滑油	342	4.14.1. 工程机械的种类及特点	416
4.5 机床用润滑油	347	4.14.2. 工程机械用润滑油(脂)	
4.5.1. 机床润滑的特点	348	的性能及选择	416
4.5.2. 机床润滑油的分类及性能要求	349	4.14.3. 工程机械润滑管理及换油指标	424
4.5.3. 机床润滑法	353	4.15 各种机械用润滑油(脂)耗量计算	
4.5.4. 机床液压油	354	及经验用量	426
4.5.5. 机床液压导轨油	356	4.15.1. 轴承用润滑油消耗量	426
4.5.6. 机床润滑油(脂)选用参考资料	357	4.15.2. 齿轮用润滑油消耗量	427
4.6 压缩机油及冷冻机油	369	4.15.3. 气缸用润滑油消耗量	428
4.6.1. 往复式活塞式压缩机油	370	4.16 机械润滑系统的冲洗	430
4.6.2. 回转式压缩机油	377	4.16.1. 非自驱润滑油泵润滑系统的冲洗	430
4.6.3. 压缩机用润滑油的适量和适用		4.16.2. 自驱润滑油泵润滑系统的冲洗	431
粘度参考资料	378	4.17 与机械润滑有关故障及解决措施	431
4.6.4. 冷冻机油	381	4.17.1. 与机械润滑有关故障的	
4.6.5. 真空泵润滑油	382	起因及现象	431
4.6.6. 压缩机油的选用要领及适用粘度	385	4.17.2. 机械润滑有关故障及	
4.7 压延机(轧钢机)润滑油(脂)	385	解决措施参考资料	432
4.7.1. 压延机油性能要求	385	第5章 润 滑 脂	441
4.7.2. 压延机用润滑油特点	386	5.1 润滑脂的组成及结构	441
4.7.3. 压延机润滑油参考资料	386	5.1.1. 稠化剂(增稠剂)	441
4.8 纺织工业机械用润滑油(脂)	390	5.1.2. 基础油	445
4.8.1. 锭子油	390	5.1.3. 添加剂	452
4.8.2. 纺织机用润滑油(脂)	390	5.2 润滑脂的理化指标及其意义	458
4.8.3. 织布机用润滑油(脂)	391	5.2.1. 使用性能指标的意义	458
4.9 造纸工业机械用润滑油(脂)	393	5.2.2. 理化性能指标的意义	459
4.9.1. 纸浆机械用润滑油(脂)	393	5.3 润滑脂的性能及用途	460
4.9.2. 造纸机用润滑油(脂)	394	5.3.1. 钙基润滑脂	461
4.9.3. 造纸工业机械用润滑油(脂)		5.3.2. 钠基润滑脂	461
选用参考资料	397	5.3.3. 钙钠基润滑脂	462
4.10 橡胶加工机械用润滑油(脂)	397	5.3.4. 铝基润滑脂	462
4.11 制糖工业机械用润滑油(脂)	398	5.3.5. 铅基润滑脂	463
4.12 农业机械用润滑油	398	5.3.6. 锂基润滑脂	463
4.12.1. 农业机械工作特点和对		5.3.7. 钕基润滑脂	364
润滑油的要求	398	5.3.8. 锌基润滑脂	464
4.12.2. 拖拉机的润滑和润滑油(脂)	399	5.3.9. 复合皂基润滑脂	464

5.3.10.二硫化钼润滑脂	468
5.3.11.石墨润滑脂	468
5.3.12.膨润土润滑脂	469
5.3.13.硅胶润滑脂	469
5.3.14.聚脲基润滑脂	469
5.3.15.聚氟化烯基润滑脂	471
5.3.16.酞酐基润滑脂	474
5.3.17.染料基润滑脂	475
5.3.18.极压润滑脂	475
5.4 润滑脂混合时的性能变化	477
5.4.1.一般皂基脂混合后的性能变化	477
5.4.2.特种多效通用润滑脂混合后的 性能变化	478
5.4.3.润滑脂混合后使用寿命的变化	479
5.5 润滑脂的选用	479
5.6 润滑脂的使用寿命及换油期	484
5.6.1.润滑脂变质的基因	484
5.6.2.润滑脂耐用寿命的计算	485
5.6.3.润滑脂耐用寿命的查定法	487
5.7 润滑脂的分类	488
5.7.1.汽车(拖拉机)用润滑脂	488
5.7.2.工业用润滑脂	489
第6章 合成润滑油	490
6.1 合成润滑油的种类、化学结构及性质	490
6.1.1.酯系润滑油	490
6.1.2.硅油	500
6.1.3.聚苯基醚	509
6.1.4.聚乙二醇、聚烷基乙二醇	509
6.1.5.磷酸酯及硅酸酯	511
6.1.6.氟油	512
6.1.7.二烷基苯油	513
6.1.8.聚 α -烯烃合成油	513
6.2 合成润滑油的化学结构和使用性能	515
6.2.1.粘度和粘温性	515
6.2.2.凝点、闪点和挥发性	516
6.2.3.体积弹性率和表面张力	516
6.2.4.耐燃性	516
6.2.5.热安定性	518
6.2.6.抗氧化安定性	520
6.2.7.耐射线性能	522
6.2.8.耐负荷润滑性能	522
6.3 合成润滑油的用途及选择	524
6.3.1.合成润滑油的主要用途及要求	524
6.3.2.合成润滑油的主要选用因素比较	528

6.3.3.合成润滑油的主要使用性能的选择	533
第7章 添加剂	534
7.1 燃油油类添加剂	534
7.1.1.汽油抗爆剂	534
7.1.2.早燃(提前着火)防止剂	536
7.1.3.抗氧化添加剂	537
7.1.4.金属钝化剂	539
7.1.5.柴油十六烷值上升剂	539
7.1.6.防腐蚀剂	540
7.1.7.防冰剂	542
7.1.8.防腐杀菌剂	543
7.1.9.防静电剂	543
7.1.10.润滑性能添加剂	547
7.1.11.助燃剂	548
7.1.12.染色剂	552
7.2 润滑油添加剂	554
7.2.1.粘度指数添加剂	554
7.2.2.降凝剂	557
7.2.3.抗氧化添加剂	560
7.2.4.清净浮游添加剂	566
7.2.5.抗磨油性添加剂	577
7.2.6.极压抗磨添加剂	580
7.2.7.摩擦调整剂	592
7.2.8.防腐蚀添加剂	595
7.2.9.防锈添加剂	598
7.2.10.抗泡沫剂	603
7.2.11.乳化剂	605
7.2.12.抗乳化剂	609
7.2.13.合成润滑油的添加剂	609
7.2.14.几种添加剂配伍的相互关系	611
7.2.15.润滑油用添加剂总表	620
第8章 金属加工工艺用油	622
8.1 金属塑性加工用油	622
8.1.1.金属塑性加工用油的作用、 性能及种类	622
8.1.2.压延(轧制)用油(剂)的选择	627
8.1.3.拉拔用油的选择	639
8.1.4.锻造用油和挤压用油	645
8.1.5.我国常用金属塑性加工用油例	649
8.2 金属切削加工用油	651
8.2.1.切削油(液)的作用和性能	651
8.2.2.切削油(液)的种类	652
8.2.3.切削油用添加剂	662
8.2.4.切削油(液)的选择要点	663

8.2.5. 研磨油(液)的选择要点	666
8.2.6. 切削油(液)的管理	670
8.2.7. 切削及研磨油(液)的选用实例	674
8.3 金属热处理用油	688
8.3.1. 金属热处理油的性能	688
8.3.2. 淬火用油	689
8.3.3. 退火用油	691
8.4 铸造用油	691
8.4.1. 钢铁铸造用永久铸模用油	692
8.4.2. 铝及铝合金铸模用油	692
8.4.3. 铜及铜合金铸模用油	692
8.4.4. 铅和锡及其合金铸模用油	692
8.4.5. 镁及镁合金铸模用油	692
8.4.6. 锌及锌合金铸模用油	692
8.4.7. 铸型(型芯)粘结剂油	693
第9章 防锈油(脂)	694
9.1 金属锈蚀及防锈的机理	694
9.1.1. 金属锈蚀的机理	694
9.1.2. 防锈油(脂)的防锈作用	695
9.1.3. 防锈油(脂)的水置换 及除指纹作用	696
9.1.4. 防锈添加剂的作用	697
9.1.5. 防油沾污作用	698
9.2 防锈油(脂)的种类	698
9.2.1. 除指纹防锈油	698
9.2.2. 溶剂稀释型防锈油	700
9.2.3. 石油脂(蜡膏)型防锈油	702
9.2.4. 防锈润滑油	702
9.2.5. 防锈润滑脂	704
9.2.6. 水溶性(或乳化)型防锈油	704
9.2.7. 气相接触防锈油	706
9.3 防锈添加剂	706
9.3.1. 油溶性磺酸盐	709
9.3.2. 羧基酸	709
9.3.3. 羧基酸盐	710
9.3.4. 酯及醇	711
9.3.5. 胺及胺盐	711
9.3.6. 磷酸盐及磷酸酯	711
9.3.7. 其他防锈剂	712
9.3.8. 多元防锈剂(防锈剂配伍组分)	712
9.4 防锈油用基础油	712
9.5 防锈油(脂)的选用	713
9.6 防锈油(脂)的使用方法	714
9.6.1. 预处理方法	714

9.6.2. 涂敷方法	716
第10章 工艺用油	717
10.1 电绝缘油	717
10.1.1. 变压器油	717
10.1.2. 电容器油	721
10.1.3. 电力电缆油	722
10.1.4. 电信电缆油	724
10.1.5. 常用电绝缘油的性能	726
10.2 溶剂油	726
10.2.1. 橡胶溶剂油	727
10.2.2. 油脂抽提溶剂油	727
10.2.3. 油漆溶剂油	728
10.2.4. 香花溶剂油	728
10.2.5. 工业汽油	728
10.2.6. 石油醚	728
10.2.7. 洗衣挥发油(干洗用汽油)	728
10.2.8. 油墨稀释用汽油	729
10.2.9. 皮鞋油溶剂油	729
10.3 软麻油	729
10.4 白油	730
10.5 橡胶配合油	731
10.5.1. 芳烃系配合油	731
10.5.2. 环烷烃系配合油	731
10.5.3. 石蜡(烷烃)系配合油	731
10.6 热载体油	734
10.7 离模油	737
10.8 冲洗用油	737
10.9 印刷油墨用油	738
10.10 煤气大罐密封用油	738
第11章 石蜡、地蜡及凡士林	739
11.1 石蜡的组成、性质及用途	739
11.1.1. 石蜡的主要组成和性质	739
11.1.2. 石蜡的主要用途	740
11.2 地蜡、石油脂及凡士林	746
11.2.1. 地蜡、石油脂及凡士林的 主要组成和性质	746
11.2.2. 地蜡、石油脂及凡士林的 主要用途	747
11.3 合成石蜡及合成地蜡	750
11.4 改质石蜡	751
11.4.1. 石蜡粘韧性的改善	751
11.4.2. 石蜡光化学安定性的改善	752
第12章 石油沥青	753
12.1 沥青的组成及性质	753

12.1.1.溶剂分离性及元素组成	753	14.2 刹车油(制动液)	805
12.1.2.分子结构和化学性质	754	14.2.1.醇型刹车油	806
12.1.3.化学反应性	756	14.2.2.石油型刹车油	807
12.1.4.沥青的胶体性质	758	14.2.3.醇醚型刹车油(合成刹车油)	807
12.1.5.沥青的物理性质	760	14.3 防冻液	809
12.2 沥青规格指标及其使用意义	762	14.4 环烷酸皂	810
12.2.1.规格指标	762	14.5 石油酸(阿西多)	811
12.2.2.使用指标	763	14.6 木材防腐油	811
12.3 沥青的种类、规格及用途	766	14.7 杀虫、杀菌剂用油	811
12.3.1.直馏石油沥青(道路沥青)	766	14.7.1.果树杀虫油	811
12.3.2.乳化石油沥青	767	14.7.2.杀灭蚊虫油	812
12.3.3.液体石油沥青	774	14.7.3.室内杀虫油	812
12.3.4.氧化石油沥青(建筑沥青)	775	14.7.4.动物杀虫喷雾剂用油	812
12.3.5.改质沥青 (橡胶沥青及塑料沥青)	778	14.8 除草剂用油	813
12.3.6.含填料沥青	780	14.9 土壤改良用油	814
12.4 沥青的用途及用法	780	14.10 炭黑	814
12.4.1.沥青路面的铺装及沥青的选择	781	14.11 空气过滤器油	815
12.4.2.建筑工程用沥青的选择	787	附录1 本书采用的代号、术语、 参量单位及略语	816
12.4.3.水利工程用沥青的选择	789	附录2 常用单位换算对照表	819
12.5 石油沥青在改造农田上的应用	792	1.粘度	819
12.5.1.改良土壤用乳化石油沥青 及其效果	792	2.动力粘度	819
12.5.2.乳化石油沥青用于固定肥料	794	3.体积(容积)	819
12.5.3.石油沥青用于改造沙漠及造田	794	附录3 常用粘度对照换算表	820
12.6 石油沥青用途、性能及用法汇总	794	附录4 石油比重换算表	824
第13章 石油焦	796	附录5 由40°C及100°C粘度厘沲查测 粘度指数线图	825
13.1 石油焦的生产工艺	796	附录6 100°F向40°C及210°F 向100°C粘度换算系数线图	826
13.1.1.原焦的生产	796	附录7 工业润滑油新旧粘度标号(牌号) 对照参考图	827
13.1.2.煅烧焦的生产	797	附录8 本书采用的专用术语对照 (按汉语拼音词头顺序)	828
13.1.3.针焦的生产	798	附录9 润滑油粘度-温度线图 及调合油比例表	831
13.2 石油焦的性质及用途	798		
13.2.1.石油焦的性质	798		
13.2.2.石油焦的用途	800		
第14章 其他石油产品	804		
14.1 合成洗涤剂原料油	804		

第1章 绪 论

1.1 石油及人造石油原料的成因

1.1.1. 石油的成因

据一般广泛承认的石油成因假说，人们认为石油是由古代的浅海，湖泊沼泽等地的动植物和海藻等有机物，沉在海底经过长期变化而形成的。堆积的动植物由于地层的变动或自然沉积而埋没在闭塞的海湾或湖泊沼泽下的泥泞中，在大约几百万年到几千万年的长期隔绝空气或空气极为稀少的情况下，在水底泥岩深到数百至数千公尺之下，受到自然的温度（约100℃以上）和压力（约300气压以上），和某些诸如酸性硅酸盐等矿物质的接触催化作用和某些放射能（主要是 α 粒子）的作用，以及由生物，水解发酵生成的氢等作用，引起这些生物本身的还原，脱胺，脱酰和液化，结果在这种隔绝空气的条件下，由于细菌（据国外文献记载密西湾浅海底泥下的沉积物每克中发现有46000多个细菌）的活动，以致发生发酵、还原等作用，最后形成天然的石油。石油成因的有机根源说主要是由于发现了石油中有叶绿素衍生物的普飞林错盐（卟族错盐）等的动植物有机体的微生物，并且最近在石油中还发现了有3000多种能够生存在石油中，并且吃石油繁殖的细菌而进一步得到证实。

石油在地层深部埋藏期间逐渐变化，其一般过程如下：

动植物油脂（蛋白质）→沥青基石油→环烷基石油→混合基石油→石蜡基石油				
比重（约数）	0.95	0.92	0.90	0.87
轻质油部分	少	稍多	较多	多
汽油辛烷值	60~70	60~70	50~60	30~50
柴油十六烷值	20~30	30~40	35~55	45~65
润滑油粘度指数	0	0~20	50~70	80~100
蜡分	无	无	有	多
沥青分	多	少	更少	极少

即一般是由沥青基石油转变为环烷基石油，继而转变为石蜡基石油，石油的分子量随地球历史年代的增加而降低，轻质馏分增加，含氢比例也增大，即石蜡烃含量增加，环烷烃的含量减少，最后终致形成低级的烷烃，甚至变成甲烷和乙烷，即成为天然石油气。但这一整个过程所需的时间是以几百万年到几千万年甚至几亿年计算的。

1.1.2. 油母页岩的成因

我国可用的另一石油原料——油母页岩，则一般认为是一些动植物，主要是动物和水生植物，受地层变动或自然沉积而埋没在碱性的内湖或海滨的水下泥泞之中，同样受到自然的地热及地压，以及一些无机物和有机物的催化作用，进行分解和转化，但由于有碱性物质的存在，以致未能形成石油的反应，或在尚未形成石油之前，由于地层变动而离开了海滨湖畔，也就离开了水，因而在陆地上与泥岩一起在地压作用下形成了油母页岩。这从油母页岩的特点：所含碱金属和氮化物，并大部分为含镁泥灰岩，以及在某些油母页岩中发现有鱼化石等的事实上，也可以得到这个假说的初步证实。

1.1.3. 煤炭的成因

我国的另一石油原料——煤炭。煤炭主要是古代植物，大森林等因地层变动而埋没，沉积在地层深处，受地压和地热作用的同时，受自然干馏以及某些无机物和细菌的作用，进行分解和炭化而形成的高碳化合物，根据形成年代的多寡，以及炭化的程度不同，大体上可分为褐煤和沥青煤以及无烟煤等三类。

泥煤也称为草炭，据说是由水生植物，例如海藻、海草等沉积并在地下受地压和地热等自然作用而形成的。

关于这些成因的假说很多，以上假说只是大家比较公认的一种而已。

1.2 石油的组成及理化性质

石油的主要组成元素是碳和氢，根据产地不同，可能还含有少量不同的硫化物，氧化物和氮化物，以及很少量的无机盐类夹杂物。根据一些原油的分析证明，一般石油的元素组成大体为：

C%	H%	碳氢比(C/H)	S%	N%	O%
84~87	12~14	6.1~7.2	0.1~5.5	0.01~2.2	0.2~1.4

一般原油大都是由分子量为16的甲烷等气体和分子量由几十到几百的液体，以及分子量到1000以上的固体烃及其衍生物所组成的混合物。

天然原油一般都是黑褐色的液体，比重在零点几到一之间。其中含有几百种甚至几千种化合物的混合物（美国石油研究所曾检出了含有1346种化合物的烃），分子量的范围是从十几到几千。其主要组成化合物分为烷烃（分子式的通式为 C_nH_{2n+2} ），环烷烃（分子式的通式为 C_nH_{2n} ， C_nH_{2n-2} ， C_nH_{2n-4} 和 C_nH_{2n-x} ），芳香烃（分子式的通式为 C_nH_{2n-6} ， C_nH_{2n-12} ）和一些非纯烃的有机化合物。一些人造石油和个别的天然原油中也含有一些烯烃（分子式的通式为单烯烃 C_nH_{2n} ，二烯烃 C_nH_{2n-2} ，炔烃 C_nH_{2n-2} ），以及少量的其他衍生物。

1.2.1. 烷烃（石蜡属烃）

烷烃是具有长链或短链，或者带有一个到几个侧链的开链烃，其主链的两端和侧链的尖端都带有一个甲基根（ $-CH_3$ ）。

烷烃在化学性上是比较安定的化合物，一般在常温下不致和空气中氧发生作用，只有在较高的温度下，或者在有辉光放电或有光化学光线作用下，才开始氧化为醇、醛、酮、醚以及脂肪酸等的化合物。

CH_4 到 C_4H_{10} 的烷烃在常温、常压下是气体， C_5H_{12} 到 $C_{17}H_{36}$ 的是液体， C_{18} 以上的则是固体。液体部分的沸点大约是 $28\sim 300^\circ C$ 。正构烷烃的沸点比同样碳原子的异构烷烃高出几度到几十度。固体烷烃的融点在 $28^\circ C$ 以上。但液体部分的烷烃例如 $C_{16}H_{34}$ 在 $18^\circ C$ 以下时也结晶成固体，因而在某些燃料和润滑油商品中也是不希望有的。正构烷烃的十六烷值一般都较高，但其辛烷值则比异构烃低很多。例如正构辛烷结构式是 $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$ ，沸点是 $125.67^\circ C$ ，辛烷值是 -17，而异构辛烷如一脱戊的异辛烷结构

式是 $CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CH_3$ ，沸点是 $99.2^\circ C$ ，辛烷值是 100。同样，其正构固体烷烃的

表1-2-1

一般汽油中常见的烷烃的理化性质和抗爆性^[1]

名 称	分子结构式	比重, 20℃	熔点, °C	沸点, °C	未加乙基	乙基液 3 毫升/公	
					液的辛烷值, 马达法	斤, 辛烷值	品度法
正戊烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.6262	-129.7	36.7	61	87	2
异戊烷	$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6197	-159.9	27.89	89	102	140
2,2-二甲基丙烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.5904	-16.6	9.5	83	—	—
正己烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.6594	-95.3	68.74	26	65	-100
2-甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6532	-154.0	60.30	73	96	66
3-甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.6544	-118.0	63.28	75	96	66
2,2-二甲基丁烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	—	—	49.7	93.4	111	152
2,3-二甲基丁烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.6617	-128.4	59.99	95	111	205
正庚烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.6838	-90.6	98.43	0	52	-200
2-甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.6787	-118.3	90.05	45	73	90
2,2-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6739	-123.8	79.2	93	100	143
2,3-二甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6933	-134.5	86.10	84	100	143
2,3-二甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6951	—	89.8	89	—	—
2,4-二甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.6728	-119.2	80.5	82	100	83
2,2,3-三甲基丁烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6901	-24.96	80.88	101	—	—
正辛烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.7025	-56.8	125.67	-17/-28	35	-220
2-甲基庚烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.6979	-109.04	117.65	24	—	—
3-甲基庚烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C} \end{array}$	0.7058	-120.5	118.93	35	—	—
3-乙基己烷	$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.7136	—	118.53	52	—	—

续表

名 称	分子结构式	比重, 20℃	融点, ℃	沸点, ℃	未加乙基 液的辛烷 值, 马达	乙基液 8 毫升/公 斤, 辛烷值	
					法	马达法	品度法
2,2-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.6953	-121.18	106.8	77	101	120
2,3-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.7121	—	115.6	76	99	102
2,4-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \quad \text{C} \\ \quad \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \\ \text{C} \quad \quad \text{C} \end{array}$	0.7004	-137.5	109.43	70	94	80
2,5-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \quad \quad \text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C} \quad \quad \quad \text{C} \end{array}$	0.6936	-91.2	109.1	52	80	44
3,3-二甲基己烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	0.7100	-126.1	111.97	83	100	102
2,2,3-三甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{C} \end{array}$	0.7161	-112.3	109.84	102	114	238
2,2,4-三甲基戊烷 (异辛烷)	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \\ \text{C} \quad \quad \text{C} \end{array}$	0.6919	-107.37	99.24	100	113.4	164
2,3,4-三甲基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \quad \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \end{array}$	0.7191	-109.21	113.47	97	108	193
正壬烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.7255	-29.67	174.12	-53	—	—
3,3-二乙基戊烷	$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C} \end{array}$	—	—	139.0	50	—	—
正癸烷	$\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}$	0.7299	-29.67	174.12	-53	—	—
3,3-二甲基辛烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C} \end{array}$	—	—	136.6	52	—	—
3,3-二乙基庚烷	$\begin{array}{c} \text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C} \end{array}$	—	—	157.5	62	—	—
2,2,6-三甲基庚烷	$\begin{array}{c} \text{C} \\ \\ \text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C} \\ \quad \quad \\ \text{C} \quad \quad \text{C} \end{array}$	—	—	150	79	—	—

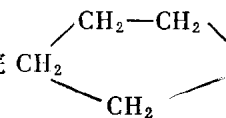
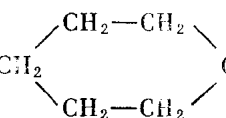
熔点也比异构的高得很多。异构烷烃带侧链越多的,其抗爆性即辛烷值也越高。而烷烃的单位发热量一般都比环烷烃和芳香烃高。汽油中常见的烷烃的理化性质如表1-2-1。

烷烃是饱和的碳氢,液体烷烃是构成石油的主要成分。它的化学安定性较强,较难与

一般化合物和元素反应，因而它在石油产品中是比较安定的。石油中都含有正构烷烃和异构烷烃，在碳原子数或沸程相同的情况下正构烷烃的自燃点比芳香烃和环烷烃低，在高温下有氧存在时容易生成过氧化物，因而其辛烷值低，而十六烷值高。且由于其表面张力较小，作为柴油时在喷油和燃烧上都十分有利。异构烷烃的抗氧化性能较强，自燃点较高，而辛烷值也较高，是良好的汽油组分。因而在评定柴油时以正十六烷的十六烷值为 100，评定汽油时以异辛烷的辛烷值为 100，做为评定标准。烷烃的融点是随碳链的增长而增高，随侧链的增加而降低，并且是随分子的不均称而其融点也越低。烷烃的异构物是随侧链的向主链中心的接近和侧链的增长而融点降低，而且是以 Π 型和 T 型分子异构物的融点为最低的。并且侧链越多的烷烃在凝固时也越不致形成结晶。由于正烷烃的融点较高，因而由含正烷烃较多的石蜡基原油生产的石油产品的凝点就较高。

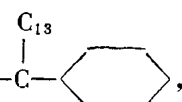
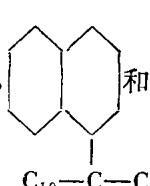
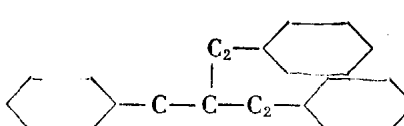
1.2.2. 环烷烃

环烷烃是环状的饱和烃，性能比较稳定，并且也是石油的主要组成之一，一般它在石油中的含量仅次于烷烃而居第二位。石油中也有很多异构环烷烃。异构环烷烃的沸点比同碳原子数的正构环烷烃稍低几度。石油中的环烷烃最安定，含量最多的是五碳环烃或六碳环

烃及其化合物，例如环戊烷  和环己烷  以及由五

或六碳环烃组成的十氢萘和高氢萘等。现举几种环烷烃的理化性质如表 1-2-2。

环烷烃具有脂肪族化合物的性质，而不表现芳香族的性质，它没有受硝酸或硫酸作用生成硝基物或磺化物的性质，但是比 C_nH_{2n} 的氢原子少的 C_nH_{2n-2} ， C_nH_{2n-4} 等环烷烃则具有一般烯烃的性质。它和烷烃类似在较高的温度下能与氧作用生成有机酸，羧基酸和一些酯类。一般环烷烃较芳香烃容易被氧化，特别是带有叔碳原子的环烷烃更容易氧化，并且是随分子量的增加而可被氧化的程度也增大。有侧链时则安定性降低而易被氧化。环烷烃环上的取代基越多以及这些取代基的分子量越大时，它的抗氧化安定性也越低。一般环烷烃比碳原子数相同的烷烃的结晶点低，而比重较大，重量发热量也较低。

石油的组成中也有很多带有烷基侧链的环烷烃，例如：， 和  等复杂的碳氢化物，这些一般都在重质石油产品中，也是润滑油的主要组分。

1.2.3. 芳烃

芳烃是以 6 个碳原子构成的环-苯核为基础组成的碳氢化合物。由 C_nH_{2n-6} 或 C_nH_{2n-12} 的通式看来，类似不饱和性的化合物。但实际上由于它的碳原子间的角度构造和共轭双键的特点而无不饱和烃的性质，并且是一种比较安定的化合物，一般的情况下不起氧化作用。由于它具有紧聚的、并且少氢的分子构造，因而它的比重比环烷烃大，比烷烃更大。一般纯环芳烃的结晶点较高，但其中的异构物和带有甲基 $[-CH_3]$ 支链的结晶点则显著降低，例如苯的结晶点是 $+5.5^\circ C$ 而甲苯的结晶点则低到 $-94.99^\circ C$ 。而且二环以上的芳烃的融点逐渐增高。

表1-2-2

一般汽油馏分中常见的环烷烃理化性质和辛烷值

名 称	分子结构式	比重, 20℃	熔点, °C	沸点, °C	空白辛烷值 马达法	8 毫升乙基液/公 斤, 辛烷值	
						马达法	品度法
环戊烷		0.7451	-93.77	49.26	83	102	315
甲基环戊烷		0.7486	-147.45	71.87	82	100	200
异丙基环戊烷		0.7766	-111.38	127	76	—	—
正丙基环戊烷		0.7763	-117.34	130.95	28	—	—
正丁基环戊烷		0.7846	-107.99	156.6	0	—	—
正戊基环戊烷		0.7896	—	179~180	—	—	—
环己烷		0.7786	6.54	80.75	77	90	188
甲基环己烷		0.7694	-126.4	100.93	71	89	120
乙基环己烷		0.7879	-111.30	131.78	40.8	—	—
丙基环己烷		0.7936	-94.95	156.72	14	—	—
异丙基环己烷		0.8022	-89.39	154.56	61	—	84
戊基环己烷		0.8026	—	201.5	—	—	—

芳烃的重量发热量比烷烃低, 比环烷烃也低, 例如同样含有 6 个碳原子的化合物: 苯的发热量是10020千卡/公斤, 而正己烷的发热量为11500千卡/公斤, 环己烷则是11150千卡/公斤。

芳烃的密度、粘度、表面张力和蒸发潜热都比其他烃类大, 因而油料的粘度、比重和蒸发度都受到它的影响。譬如柴油, 当用同样喷油设备时, 柴油的喷油数量和雾化的程度都要受芳烃含量的影响。芳烃的吸水性也比其他烃类大, 并且随芳烃分子量的增大而吸水性下降, 随温度的上升而吸水性增加。例如, 航空汽油按所含各种烃量不同, 而其可能吸水量大约为 0.002~0.01%。

在石油产品中也有带烷基侧链的芳烃和环烷芳烃, 例如

