

JIAQING LIEHUA ZHUANGZHI
GONGYI JISUAN YU JISHU FENXI

加氢裂化装置

工艺计算与技术分析

李立权 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)



加氢裂化装置 工艺计算与技术分析

李立权 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了加氢裂化工艺计算的基本知识,详述了加氢裂化工艺计算基础和方法,对加氢裂化工艺计算和技术方案进行了详细分析和对比。全书涵盖加氢裂化原料和产品、物料平衡、热量平衡和压力平衡、工艺技术、单体设备、安全泄放、能耗及节能等内容。

本书理论与实际相结合,对加氢裂化工艺计算和技术分析有一定指导作用,可供炼油行业从事科研、教育、设计、生产及管理的人员阅读和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

加氢裂化装置工艺计算与技术分析 / 李立权主编. —北京: 中国石化出版社, 2009
ISBN 978 - 7 - 80229 - 931 - 3

I. 加… II. 李… III. 石油炼制 - 加氢裂化 - 化工计算
IV. TE624.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 067735 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京宏伟双华印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 34 印张 828 千字
2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷
定价:85.00 元

前 言

加氢裂化技术是炼油厂生产清洁/超清洁燃料、化工原料和油品轻质化的关键技术，集炼油技术、高压技术和催化技术为一体。《油气杂志》的统计表明：2001~2008年，世界原油加工能力增长4.99%，加氢处理增长20.3%，加氢裂化增长16.54%，预计2015年相对于2005年加氢处理增长30%，加氢裂化增长60%。中国石化集团科技开发部的统计表明：2001~2006年，中国石油和中国石化原油加工能力提高了31.31%；而加氢裂化装置能力提高了94.16%；加氢处理装置能力提高了80.95%。2007年末，世界加氢装置平均占一次原油加工能力的54.3%，日本95.19%，德国85.81%，美国83.12%，中国石油和中国石化38%。2006~2010年世界加氢裂化的增长率预计23.19%，加氢精制17.00%。Hart公司预计：2005~2020年，世界原油平均比重指数将从32.8下降到32.3，硫含量将从1.17%上升到1.35%，到2020年，全球总脱硫能力将增加55%，其中中间馏分油脱硫能力需增加59%，这必将促使各种加氢技术迅猛发展。

随着加氢裂化技术的进步和快速发展，应用于工艺工程设计的各种网络计算软件也得以普及和应用，使工艺工程设计人员可以很方便地对加氢裂化装置进行工艺流程优化、物料衡算、热量衡算、压力平衡、单体设备计算及多方案技术对比和分析。但计算基准如何选取，计算方法如何确定，计算公式的适用范围如何，要控制哪些参数才能达到计算目的，计算结果如何应用于工艺工程，如何利用生产中产生的问题来修正工艺设计使其更符合实际等，仍是工艺工程设计的核心和结果可靠的基础。加氢裂化装置的工艺工程设计既是对单一设计原料在一定操作条件下，满足产品要求的最优化工艺工程(包括投资、能耗、经济性、可操作性和可靠性)研究和实践；也是在一定限制条件下(工艺流程、操作条件、催化剂、设备、管线等)，适应不同原料、生产一定变化范围产品的工艺工程研究和实践。因此，加氢裂化装置的工艺工程设计既需要理论、经验或半经验计算模型或公式作为工艺工程设计的基础，也需要工程经验补充工艺工

程设计，使其适应变化和非正常工况的要求。本书作者试图从众多的网络计算软件中提取经实践检验是成熟、可靠的理论，经验或半经验计算模型或公式作为加氢裂化装置的工艺计算基础，结合作者多年来的工程经验，形成能满足目前加氢裂化技术水平的工艺工程设计和技术分析专著，以促进加氢裂化装置设计、生产、管理水平的提高，为我国加氢裂化技术的快速发展尽一点微薄之力。

《加氢裂化装置工艺计算与技术分析》内容包括：原料油方面的工艺计算及技术分析、产品方面的工艺计算及技术分析、物料平衡及技术分析、热量平衡及技术分析、压力平衡及技术分析、工艺技术及技术分析、工艺因素及技术分析、工艺技术方案及技术分析、高压换热器工艺计算及技术分析、压缩机工艺计算及技术分析、高压泵工艺计算及技术分析、高压反应器工艺计算及技术分析、高压空冷器工艺计算及技术分析、高压加热炉工艺计算及技术分析、高压循环氢脱硫塔工艺计算及技术分析、高压分离器工艺计算及技术分析、过滤器工艺计算及技术分析、安全泄放系统工艺计算及技术分析、能耗及节能等。

本书以馏分油固定床加氢裂化技术为基础，工艺技术方案、技术经济分析以可比的价格体系为计算基准，为避免具体技术数据引起纠纷，敏感的技术数据采用了基准及基准 \pm 百分数的表示方式，引用的标准及软件均为国际、国内通用，没有涉及未公开发表的新技术、新方法、未经工业装置验证的经验或半经验计算模型或公式、各设计单位和工程公司未公开发表的工程设计标准、未公开发行的技术资料等。

本书编写过程中，得到了炼油企业界的许多同仁、中国石化集团洛阳石油化工工程公司同事及中国石化出版社的支持和帮助，在此一并表示感谢！

编 者

目 录

第一章 有关原料油方面的工艺计算	(1)
1.1 原料油的拟组分切割	(1)
1.2 密度、 API 、 $BMCI$ 、 V_{GC} 、 CH 、 $K_H(K_R)$ 、 RI 、 I 、 WN 、 WF 计算	(3)
1.2.1 密度	(3)
1.2.2 API 度	(6)
1.2.3 $BMCI$	(6)
1.2.4 V_{GC}	(7)
1.2.5 CH	(8)
1.2.6 $K_H(K_R)$	(8)
1.2.7 RI	(9)
1.2.8 I	(9)
1.2.9 WN	(9)
1.2.10 WF	(9)
1.3 特性因数、平均沸点、折光率、折光指数计算	(10)
1.3.1 特性因数	(10)
1.3.2 平均沸点	(11)
1.3.3 折射率	(13)
1.3.4 折光指数	(14)
1.4 相对分子质量计算	(14)
1.4.1 改进的 Riazi - Daubert 方法	(14)
1.4.2 Lee - Kesler 方法	(15)
1.4.3 改进的 Cavett 方法	(15)
1.4.4 寿德清方法	(15)
1.4.5 经验公式	(15)
1.4.6 石油大学的计算公式	(15)
1.4.7 Total 关联式	(16)
1.4.8 混合物的相对分子质量	(16)
1.4.9 蜡油加氢裂化原料的相对分子质量	(16)
1.5 黏度计算	(17)
1.5.1 绝对黏度	(17)
1.5.2 相对黏度	(18)
1.5.3 黏度换算	(18)
1.5.4 常压加氢裂化原料油的黏度计算	(20)
1.5.5 高压加氢裂化原料油的黏度计算	(21)
1.5.6 常压加氢裂化混合原料油的黏度计算	(23)

1.6 族组成、结构参数计算	(26)
1.6.1 族组成	(26)
1.6.2 结构参数	(28)
1.7 闪点、倾点计算	(30)
1.7.1 闪点	(30)
1.7.2 倾点	(31)
参考文献	(31)
第二章 有关产品方面的工艺计算	(33)
2.1 加氢裂化产品重石脑油、喷气燃料、柴油、润滑油基础油和加氢裂化尾油 通用性质计算	(33)
2.1.1 比热容计算	(33)
2.1.2 蒸发潜热计算	(34)
2.1.3 导热系数计算	(35)
2.1.4 特性因数计算	(35)
2.1.5 相对分子质量计算	(35)
2.2 重石脑油性质计算	(36)
2.2.1 芳构化指数计算	(36)
2.2.2 芳烃潜含量计算	(38)
2.3 喷气燃料性质计算	(38)
2.3.1 氢含量计算	(39)
2.3.2 相对分子质量计算	(39)
2.3.3 烟点计算	(39)
2.3.4 黏度计算	(39)
2.3.5 表面张力计算	(40)
2.3.6 密度计算	(41)
2.3.7 声学性质计算	(43)
2.3.8 电性质计算	(43)
2.4 柴油性质计算	(44)
2.4.1 闪点计算	(44)
2.4.2 苯胺点计算	(45)
2.4.3 柴油指数、十六烷指数、十六烷值计算	(47)
2.4.4 柴油凝点计算	(49)
2.5 润滑油基础油性质计算	(50)
2.5.1 闪点计算	(50)
2.5.2 黏度计算	(51)
2.5.3 黏度指数计算	(55)
2.6 加氢裂化尾油性质计算	(55)
参考文献	(55)

第三章 物料平衡及技术分析	(57)
3.1 加氢裂化物料平衡的定义、分类、方法和步骤	(57)
3.1.1 加氢裂化物料平衡的定义	(57)
3.1.2 加氢裂化物料平衡的分类	(58)
3.1.3 加氢裂化物料平衡的方法	(58)
3.1.4 加氢裂化物料平衡的步骤	(59)
3.2 加氢裂化装置不同物料平衡的表述方式	(60)
3.2.1 理论物料平衡、试验物料平衡	(60)
3.2.2 设计计算物料平衡	(61)
3.2.3 工业生产物料平衡	(62)
3.3 氢气平衡	(62)
3.3.1 氢的特性	(62)
3.3.2 氢气平衡	(63)
3.3.3 化学氢耗计算	(65)
3.3.4 溶解氢耗计算	(75)
3.3.5 泄漏氢耗计算	(78)
3.3.6 排放氢耗计算	(82)
3.3.7 工业总氢耗计算	(82)
3.4 氢气来源及要求	(85)
3.4.1 电解氢	(86)
3.4.2 制氢装置产氢	(86)
3.4.3 重整装置副产氢	(86)
3.4.4 加氢裂化装置补充氢的典型控制项目和指标	(87)
3.5 加氢过程中的氢气有效利用	(87)
3.5.1 加氢处理	(87)
3.5.2 加氢精制	(88)
3.5.3 馏分油加氢裂化	(88)
3.5.4 渣油加氢裂化	(88)
参考文献	(88)
第四章 热量平衡及技术分析	(90)
4.1 加氢裂化热量平衡的定义、分类、方法和步骤	(90)
4.1.1 加氢裂化热量平衡的定义	(90)
4.1.2 加氢裂化热量平衡的分类	(91)
4.1.3 加氢裂化热量平衡的基准和方法	(92)
4.1.4 加氢裂化热量平衡的步骤	(92)
4.2 加氢裂化应用的热力学方法选择及性质计算	(96)
4.2.1 临界性质	(96)
4.2.2 气-液相平衡的计算	(98)
4.2.3 挥发性弱电介质水溶液气-液相平衡计算	(100)

4.2.4	焓、熵、比热容等热性质计算	(101)
4.3	热量平衡计算	(104)
4.3.1	反应热计算及热量平衡	(104)
4.3.2	能量消耗计算	(111)
4.4	反应热的排除	(114)
4.4.1	反应热排除的方法	(114)
4.4.2	反应器热量平衡和冷介质量计算	(115)
	参考文献	(118)
第五章	压力平衡及技术分析	(120)
5.1	加氢裂化压力平衡的定义、分类、方法和步骤	(120)
5.1.1	加氢裂化压力平衡的定义	(120)
5.1.2	加氢裂化压力平衡的分类	(121)
5.1.3	加氢裂化压力平衡的基准和方法	(121)
5.1.4	加氢裂化压力平衡的步骤	(122)
5.2	加氢裂化反应器压力平衡计算	(122)
5.2.1	反应器压力降的组成	(122)
5.2.2	反应器压力降计算	(127)
5.2.3	反应器压力降的典型数据	(134)
5.3	加氢裂化装置反应部分压力控制	(135)
5.3.1	反应部分压力控制的目的	(135)
5.3.2	反应部分压力控制的方法	(135)
5.4	加氢裂化反应器压力降增大的原因及对策	(137)
5.4.1	压力降增大的原因	(137)
5.4.2	压力降增大的对策	(144)
5.5	加氢裂化高压换热器压力降增大的原因及对策	(147)
5.5.1	压力降增大的原因	(147)
5.5.2	压力降增大的对策	(148)
	参考文献	(150)
第六章	加氢裂化工艺技术及技术分析	(152)
6.1	中压加氢裂化技术	(152)
6.1.1	中压加氢裂化技术	(152)
6.1.2	缓和加氢裂化技术	(153)
6.1.3	中压加氢改质技术	(154)
6.1.4	中压加氢处理技术	(157)
6.1.5	中压加氢降凝技术	(158)
6.2	高压加氢裂化技术	(162)
6.2.1	单段加氢裂化技术	(162)
6.2.2	单段串联加氢裂化技术	(165)

6.2.3	两段加氢裂化技术	(171)
6.3	加氢裂化组合技术	(177)
6.3.1	加氢裂化-加氢脱硫组合工艺	(177)
6.3.2	加氢裂化-缓和加氢裂化组合工艺	(178)
6.3.3	缓和加氢裂化-催化脱蜡组合工艺	(179)
6.4	加氢裂化技术分析	(179)
	参考文献	(181)
第七章	加氢裂化的工艺因素及技术分析	(183)
7.1	原料油性质的影响及技术分析	(183)
7.1.1	硫	(183)
7.1.2	氮	(184)
7.1.3	芳烃	(188)
7.1.4	氧	(190)
7.1.5	干点、C ₇ 不溶物和康氏残炭	(190)
7.1.6	原料对加氢裂化中油选择性的影响	(193)
7.2	主要操作条件的工艺计算及操作数据分析	(193)
7.2.1	反应温度	(193)
7.2.2	反应压力	(198)
7.2.3	空间速度	(199)
7.2.4	氢油体积比(气油体积比)	(199)
7.3	操作条件的影响及技术分析	(201)
7.3.1	反应温度	(201)
7.3.2	反应压力	(208)
7.3.3	空速	(217)
7.3.4	氢油体积比(气油体积比)	(220)
7.3.5	运转时间	(222)
7.3.6	催化剂	(222)
7.3.7	重新分割	(223)
	参考文献	(225)
第八章	加氢裂化工艺技术方案及技术分析	(226)
8.1	反应部分工艺方案选择及技术分析	(226)
8.1.1	工艺流程方案选择及技术分析	(226)
8.1.2	尾油循环流程方案选择及技术分析	(228)
8.1.3	不同转化率的工艺技术方案及技术分析	(229)
8.1.4	新氢纯度的方案选择及技术分析	(229)
8.1.5	新氢压力的方案选择及技术分析	(230)
8.1.6	循环氢压缩机方案选择及技术分析	(231)
8.1.7	循环氢脱硫方案选择及技术分析	(231)

8.1.8	循环氢提纯方案选择及技术分析	(235)
8.1.9	高分流程方案选择及技术分析	(238)
8.1.10	换热塔流程方案选择及技术分析	(241)
8.1.11	高压混氢流程方案选择及技术分析	(245)
8.1.12	提高重石脑油收率方案选择及技术分析	(245)
8.1.13	液力透平方案选择及技术分析	(247)
8.2	分馏部分工艺方案选择及技术分析	(248)
8.2.1	生成油稳定部分流程方案选择及技术分析	(248)
8.2.2	稳定化油组分分离流程选择及技术分析	(251)
8.2.3	液化气脱硫流程选择及技术分析	(252)
8.2.4	轻烃吸收塔流程选择及技术分析	(253)
8.2.5	气体脱硫流程选择及技术分析	(253)
8.2.6	脱 H ₂ S 汽提塔 + 常压塔 + 吸收稳定流程选择及技术分析	(254)
8.2.7	减压分馏流程选择及技术分析	(255)
	参考文献	(257)
第九章	高压换热器工艺计算及技术分析	(259)
9.1	工艺条件计算	(259)
9.1.1	结构形式和结构尺寸	(259)
9.1.2	几何参数计算	(263)
9.1.3	工艺参数计算	(265)
9.1.4	结垢热阻	(269)
9.1.5	工艺计算考虑的因素	(270)
9.2	传热计算	(271)
9.2.1	膜传热系数表达式	(271)
9.2.2	管程膜传热系数计算	(272)
9.2.3	壳程膜传热系数计算	(273)
9.2.4	总传热系数计算	(274)
9.2.5	热负荷计算	(274)
9.2.6	换热面积计算	(275)
9.3	压力降计算	(275)
9.3.1	管程压力降计算	(275)
9.3.2	壳程压力降计算	(277)
9.4	典型高压换热器工艺参数和技术分析	(279)
9.4.1	典型高压换热器工艺参数	(279)
9.4.2	技术分析	(280)
	参考文献	(286)
第十章	压缩机工艺计算及技术分析	(288)
10.1	新氢压缩机	(288)

10.1.1	工艺参数计算	(288)
10.1.2	热力工艺计算	(290)
10.1.3	变工况工艺计算	(296)
10.1.4	真实气体工艺计算	(298)
10.1.5	典型工艺方案	(299)
10.1.6	技术分析	(301)
10.2	循环氢压缩机	(305)
10.2.1	工艺参数计算	(305)
10.2.2	热力工艺计算	(307)
10.2.3	变工况工艺计算	(308)
10.2.4	典型工艺方案	(310)
10.2.5	性能曲线	(311)
10.2.6	技术分析	(311)
10.3	新氢压缩机与循环氢压缩机合并机组	(315)
10.3.1	工艺参数	(315)
10.3.2	应用条件	(315)
10.3.3	方案对比	(316)
	参考文献	(316)
第十一章	高压泵工艺计算及技术分析	(318)
11.1	高压原料油泵、高压循环油泵、高压油洗泵和高压贫溶剂泵	(318)
11.1.1	工艺参数计算	(318)
11.1.2	典型工艺参数及性能曲线	(328)
11.1.3	技术分析	(331)
11.2	高压注水泵	(334)
11.2.1	工艺参数计算	(334)
11.2.2	典型工艺参数及性能曲线	(337)
11.2.3	技术分析	(338)
11.3	高压注硫泵、高压注氨泵	(339)
11.3.1	工艺参数计算	(339)
11.3.2	典型工艺参数及性能曲线	(341)
11.3.3	技术分析	(342)
	参考文献	(343)
第十二章	高压反应器工艺计算及技术分析	(344)
12.1	高压加氢反应器概述	(344)
12.1.1	高压加氢反应器的分类	(344)
12.1.2	高压加氢反应器设计定义	(345)
12.1.3	高压加氢反应器的发展历史和展望	(346)
12.1.4	高压加氢反应器的结构形式	(347)

12.1.5	高压加氢反应器内构件的典型结构	(352)
12.2	高压加氢反应器工艺计算及技术分析	(355)
12.2.1	高压加氢反应器工艺计算的数学模型	(355)
12.2.2	滴流床加氢裂化反应器(TBR)流体力学性质计算及技术分析	(362)
12.2.3	滴流床加氢裂化反应器工艺参数计算及技术分析	(366)
	参考文献	(368)
第十三章	高压空冷器工艺计算及技术分析	(369)
13.1	工艺条件计算	(369)
13.1.1	结构形式和结构尺寸	(369)
13.1.2	结构参数计算	(374)
13.1.3	工艺参数确定与计算	(375)
13.2	传热计算	(382)
13.2.1	膜传热系数表达式	(382)
13.2.2	管程膜传热系数计算	(383)
13.2.3	壳程膜传热系数计算	(383)
13.2.4	总传热系数计算	(384)
13.2.5	热负荷计算	(385)
13.2.6	换热面积计算	(385)
13.3	压力降计算	(385)
13.3.1	管程压力降计算	(385)
13.3.2	壳程压力降计算	(387)
13.4	风机工艺计算	(387)
13.4.1	全风压	(387)
13.4.2	电机功率	(388)
13.4.3	风机轴功率	(388)
13.5	典型高压空冷器工艺参数和技术分析	(389)
13.5.1	典型高压空冷器工艺参数	(389)
13.5.2	技术分析	(390)
	参考文献	(394)
第十四章	高压加热炉工艺计算及技术分析	(396)
14.1	结构形式及燃烧计算	(396)
14.1.1	结构形式、材质和热膨胀	(396)
14.1.2	燃烧计算	(400)
14.2	辐射段和对流段传热计算	(404)
14.2.1	辐射段传热计算	(404)
14.2.2	对流段传热计算	(406)
14.3	辐射段和对流段压力降计算	(412)
14.3.1	循环氢加热炉炉管压力降计算	(412)

14.3.2	反应进料加热炉炉管压力降计算	(413)
14.4	· 烟筒的水力学计算	(414)
14.5	典型高压加热炉工艺参数和技术分析	(418)
14.5.1	典型高压加热炉工艺参数	(418)
14.5.2	技术分析	(419)
	参考文献	(420)
第十五章	高压循环氢脱硫塔工艺计算及技术分析	(421)
15.1	结构形式、结构参数计算及技术分析	(421)
15.1.1	板式塔结构形式、结构参数计算及技术分析	(421)
15.1.2	填料塔结构形式、结构参数计算及技术分析	(427)
15.2	工艺计算及技术分析	(429)
15.2.1	平衡计算	(429)
15.2.2	传质计算	(433)
15.2.3	工艺工程计算	(435)
15.3	典型循环氢脱硫塔工艺参数和技术分析	(438)
15.3.1	典型循环氢脱硫塔工艺参数	(438)
15.3.2	技术分析	(439)
	参考文献	(444)
第十六章	高压分离器工艺计算及技术分析	(446)
16.1	工艺条件计算	(446)
16.1.1	高压分离器分类及工艺参数计算	(446)
16.1.2	结构形式、结构参数计算及技术分析	(449)
16.2	闪蒸计算	(453)
16.2.1	等温闪蒸	(453)
16.2.2	绝热闪蒸	(455)
16.3	高压分离器工艺计算	(456)
16.3.1	重力式分离器工艺计算	(456)
16.3.2	离心式分离器工艺计算	(459)
16.4	典型高压分离器工艺参数和技术分析	(461)
16.4.1	典型高压分离器工艺参数	(461)
16.4.2	技术分析	(462)
	参考文献	(463)
第十七章	过滤器工艺计算及技术分析	(464)
17.1	过滤基础及有关工艺计算	(464)
17.1.1	过滤器形式及分类	(464)
17.1.2	过滤器的过滤机理	(468)
17.1.3	过滤基本概念及有关工艺计算	(468)

17.2	过滤器工艺计算	(471)
17.3	典型过滤器的参数及技术分析	(473)
17.3.1	典型过滤器的参数	(473)
17.3.2	技术分析	(475)
	参考文献	(478)
第十八章	安全泄放系统工艺计算及技术分析	(480)
18.1	安全泄放系统的设置	(480)
18.1.1	安全泄放系统的作用和设置原则	(480)
18.1.2	安全泄放装置的类型及特点	(480)
18.1.3	紧急泄压系统的设置	(480)
18.2	安全阀工艺计算及技术分析	(481)
18.2.1	安全阀的定义和分类	(481)
18.2.2	安全阀的有关概念	(486)
18.2.3	安全阀泄放量的工艺计算	(487)
18.2.4	安全阀喷嘴面积的工艺计算	(489)
18.3	典型安全阀的参数及技术分析	(493)
18.3.1	典型安全阀的参数	(493)
18.3.2	技术分析	(497)
18.4	紧急泄压工艺计算及技术分析	(500)
18.4.1	紧急泄压概述	(500)
18.4.2	紧急泄压工艺计算	(501)
18.4.3	技术分析	(502)
	参考文献	(504)
第十九章	能耗及节能技术分析	(505)
19.1	能耗概述	(505)
19.2	加氢裂化装置的能耗	(508)
19.2.1	国内加氢裂化装置的能耗	(508)
19.2.2	国外加氢裂化装置的能耗	(510)
19.2.3	加氢裂化装置的能耗分析	(512)
19.3	加氢裂化装置的节能技术	(517)
19.3.1	节能技术概述	(517)
19.3.2	窄点技术优化换热流程节能	(518)
19.3.3	加氢裂化反应流出物余热发电节能	(525)
19.3.4	高效换热设备节能	(526)
19.3.5	减少能量损失节能	(527)
	参考文献	(529)

第一章 有关原料油方面的工艺计算

加氢裂化装置原料油性质一般包括密度、馏程、特性因数、相对分子质量、残炭、沥青质、烃族组成、硫含量、烯烃含量、氮含量、金属含量、氢含量、API、BMCI、黏度、黏度指数、酸值、黏重常数、倾点(或凝点)、水含量、折光率、闪点、蜡含量、固性物等。不同类型、生产不同目的产品的加氢裂化装置关注不同的原料油性质，需要不同的设计理念。

1.1 原料油的拟组分切割^[1,17~20]

加氢裂化装置可能加工一种或多种原料油，各馏分的沸程宽窄不等，组成不同(几千至几十万个分子)，不能笼统用简单方式表示。20世纪30年代，Katz和Brown提出了“拟组分”的概念，他们指出：复杂体系如石油馏分，其组成通常表示为一个蒸馏曲线(如实沸点蒸馏曲线、恩氏蒸馏曲线)，可以被看作有限数目精确切割的窄馏分混合物。每一个窄馏分都可被当作一个纯组分处理，称为“拟组分”或“虚拟组分”，同时以窄馏分的平均沸点、密度、平均相对分子质量等表征各个拟组分的性质。在工艺计算过程中，将“拟组分”等同于纯组分进行模拟计算。这样，加氢裂化加工的每一种原料油就可表示为不同拟组分组成的混合物系。

实沸点蒸馏具有精馏作用，在一定意义上反映了石油馏分的组分分布，窄馏分切割的馏分宽度一般为：15~20℃，切割的组分数目越多，馏分越窄，越能反映组分分布的性质；但组分数目越多，计算越困难，耗时越多，也受计算机允许的最大组分限制。

加氢裂化装置加工的原料油均为重组分，由于石油馏分的复杂性，即使在一个很窄的馏分范围内，也无法确定所含每一个组分的性质，工程上只能用隐含的平均性质来表示。

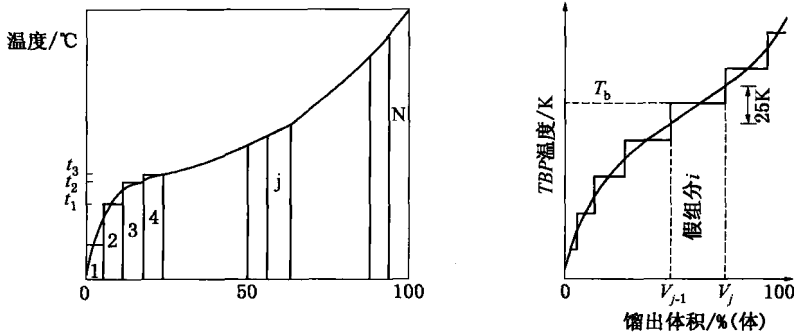


图 1-1 积分法切割拟组分示意

图 1-1 为实沸点蒸馏曲线，用函数表示如下：

$$TBP = TBP_{(v)}$$

图中每一个阶梯下面对应的面积代表切割的一个拟组分，实际上是一段窄馏分。如第 j 个拟组分，体积百分数为切割的体积区间 $V_j - V_{j-1}$ ，该拟组分的实沸点为：

$$TBP_j = (V_j - V_{j-1})^{-1} \int_{V_{j-1}}^{V_j} TBP_{(v)} dv$$

由于 $TBP_{(v)}$ 是一个隐函数, 并不能严格积分。只有当两个切割点温度足够小时, 才可以用 TBP_{j-1} 和 TBP_j 的算术平均值来代替拟组分 j 的实沸点, 即:

$$TBP_j = T_{\frac{1}{2}} = 0.5(TBP_{j-1} + TBP_j)$$

求得窄馏分的 $T_{\frac{1}{2}}$, 实测得到 $d_{15.6}^{15.6}$ 和 M (平均相对分子质量) (或通过计算得到) 后, 就可以将这个窄馏分当作一个拟组分, 与纯组分性质一样计算其他的基本物理性质了, 如: 临界性质、偏心因子等。加氢裂化原料油这个复杂混合物就可以看成由一定数量的拟组分构成的假多元混合物(表 1-1), 按照多元气液平衡的各种处理方法进行。

表 1-1 典型的加氢裂化原料油拟组分切割数据

$T_{\frac{1}{2}}/K$	$d_{15.6}^{15.6}$	M	组成/% (体)	组成/% (mol)
560.95	0.8513	223.50	4.9	8.021
617.05	0.8724	278.35	5.0	6.600
645.95	0.8790	311.41	10.0	11.889
668.75	0.8795	340.61	10.0	10.876
687.55	0.8865	365.20	9.9	10.225
700.95	0.8964	382.36	9.9	9.875
712.05	0.9070	396.68	10.0	9.630
729.85	0.9206	421.21	10.0	9.206
749.85	0.9164	454.01	9.9	8.502
771.45	0.9086	494.94	10.0	7.732
790.95	0.9283	525.62	9.9	7.438

一般情况下, 研究单位提供的为恩氏蒸馏数据, 计算前往往需要将恩氏蒸馏数据换算为实沸点蒸馏数据。恩氏蒸馏曲线各段温差与实沸点蒸馏曲线各段温差互相换算的数学模型为:

$$\Delta T_{t_1} = a_1 \times \Delta T_{a_1} + a_2 \times \Delta T_{a_1}^{1.65} + a_3 \times \Delta T_{a_1}^2 + a_4 \times \Delta T_{a_1}^{4.5} \quad (1)$$

$$\Delta T_{t_2} = a_1 \times \Delta T_{a_2} + a_2 \times \Delta T_{a_2}^{1.5} + a_3 \times \Delta T_{a_2}^{3.79} + a_4 \times \Delta T_{a_2}^{4.99} \quad (2)$$

$$\Delta T_{t_3} = a_1 \times \Delta T_{a_3} + a_2 \times \Delta T_{a_3}^{1.5} + a_3 \times \Delta T_{a_3}^{3.8} + a_4 \times \Delta T_{a_3}^6 \quad (3)$$

$$\Delta T_{t_4} = a_1 \times \Delta T_{a_4} + a_2 \times \Delta T_{a_4}^{1.55} + a_3 \times \Delta T_{a_4}^{3.79} + a_4 \times \Delta T_{a_4}^{3.3} \quad (4)$$

$$\Delta T_{t_5} = a_1 \times \Delta T_{a_5} + a_2 \times \Delta T_{a_5}^{1.65} + a_3 \times \Delta T_{a_5}^{3.3} \quad (5)$$

$$\Delta T_{t_6} = a_1 \times \Delta T_{a_6} + a_2 \times \Delta T_{a_6}^{2.59} + a_3 \times \Delta T_{a_6}^{2.92} \quad (6)$$

$$\Delta T_{a_1} = a_1 \times \Delta T_{t_1}^{1.29} + a_2 \times \Delta T_{t_1}^{1.3} + a_3 \times \Delta T_{t_1}^{3.5} \quad (7)$$

$$\Delta T_{a_2} = a_1 \times \Delta T_{t_2}^{0.9} + a_2 \times \Delta T_{t_2}^{2.8} + a_3 \times \Delta T_{t_2}^{3.8} + a_4 \times \Delta T_{t_2}^6 \quad (8)$$

$$\Delta T_{a_3} = a_1 \times \Delta T_{t_3}^{0.9} + a_2 \times \Delta T_{t_3}^{2.8} + a_3 \times \Delta T_{t_3}^{3.8} + a_4 \times \Delta T_{t_3}^{5.5} \quad (9)$$

$$\Delta T_{a_4} = a_1 \times \Delta T_{t_4}^{0.9} + a_2 \times \Delta T_{t_4}^{2.2} + a_3 \times \Delta T_{t_4}^{2.89} + a_4 \times \Delta T_{t_4}^6 \quad (10)$$

$$\Delta T_{a_5} = a_1 \times \Delta T_{t_5}^{0.9} + a_2 \times \Delta T_{t_5}^{1.9} + a_3 \times \Delta T_{t_5}^{3.1} + a_4 \times \Delta T_{t_5}^4 \quad (11)$$

$$\Delta T_{a_6} = a_1 \times \Delta T_{t_6}^{0.3} + a_2 \times \Delta T_{t_6}^{1.4} + a_3 \times \Delta T_{t_6}^{2.3} + a_4 \times \Delta T_{t_6}^4 \quad (12)$$

式中, ΔT_{a_1} 、 ΔT_{a_2} 、 ΔT_{a_3} 、 ΔT_{a_4} 、 ΔT_{a_5} 、 ΔT_{a_6} 依次为恩氏蒸馏馏出体积分数 0 ~ 10%、