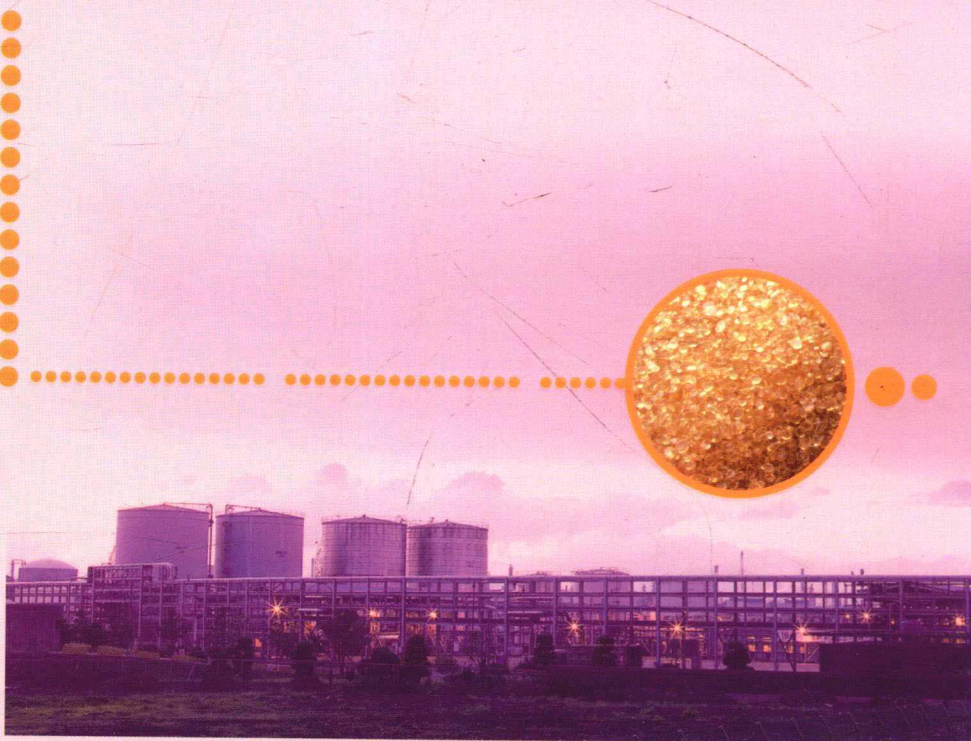




● 乔庆东 王海彦 李琪 著

碳五烯烃 的精细化工利用

Fine Chemical Utilization of Carbon Five Olefins



 辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

辽宁省优秀自然科学著作

碳五烯烃的精细化工利用

乔庆东 王海彦 李琪 著

辽宁科学技术出版社

沈 阳

© 2015 乔庆东 王海彦 李琪

图书在版编目(CIP)数据

碳五烯烃的精细化工利用 / 乔庆东, 王海彦, 李琪
著. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.1

(辽宁省优秀自然科学著作)

ISBN 978-7-5381-8958-2

I. ①碳… II. ①乔… ②王… ③李… III. ①环戊
二烯—化工生产 ②异戊二烯—化工生产 IV. ①TQ231.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第295597号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳旭日印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 185mm × 260mm

印 张: 10

字 数: 215千字

印 数: 1~1000

出版时间: 2015年1月第1版

印刷时间: 2015年1月第1次印刷

责任编辑: 李伟民

特邀编辑: 王奉安

封面设计: 嵘 嵘

责任校对: 栗 勇

书 号: ISBN 978-7-5381-8958-2

定 价: 30.00元

联系电话: 024-23284526

邮购热线: 024-23284502

<http://www.lnkj.com.cn>

前 言

碳五烯烃是裂解生产乙烯过程中副产物碳五馏分的主要成分，含量约为碳五馏分50%。而碳五馏分是石油化工炼油装置、催化裂化装置以及重质烃裂解装置裂解制乙烯过程中的副产物，是一种具有潜在价值的基本原料，通过它可生产一系列高附加值的化工产品，从而降低乙烯生产成本，提高企业的经济效益和竞争力。当今世界，乙烯工业仍在迅速发展，石油烃裂解制乙烯装置的生产能力不断增长，而且采用液态烃为裂解原料的装置逐渐增多，这预示可供利用的裂解碳五资源日趋丰富。

目前，我国的乙烯生产能力已达到5 000 kt/a，其中碳五利用率还不到20%，尚未得到充分开发利用。碳五实际上是一种宝贵的资源，可以通过它生产一系列高附加值的化工产品，世界各国也普遍关注碳五的开发利用。日本是目前碳五综合利用最好的国家，特别是在开发碳五系列精细化学品方面更为显著，他们将碳五馏分的80%~85%用于分离异戊二烯，然后再将其用于生产合成橡胶和香料、化妆品、药品、杀虫剂等。他们还将碳五馏分分离后用于生产石油树脂、路标漆、热溶胶、印刷油墨和橡胶增稠剂等。美国碳五馏分分离利用率达到70%，他们从裂解碳五中首先分离出环戊二烯和间戊二烯，用来生产各种石油树脂，现有石油树脂的年总生产能力达170 kt。

近几年来，我国相继建成了一些碳五分离装置，上海石化公司是国内最早建设裂解碳五馏分分离工业试验装置的企业，也是目前国内碳五利用最好的企业。该公司建成2.5万 t/a裂解碳五馏分分离工业试验装置。可分离异戊二烯、间戊二烯和双环戊二烯三种双烯烃，并与美Exxon公司合资配套建有2.5万 t/a间戊二烯石油树脂、1 200 t/a甲基庚烯酮、400 t/a二氯菊酸乙酯、1 000 t/a甲基四氢苯酚以及1 800 t/a二氧化双环戊二烯、3 000 t/a异戊烯、7 000 t/a戊烷等生产装置。其碳五下游产品的延伸开发有了很好的基础，形成了碳五产品链，碳五馏分利用深度接近90%，产品已经有部分出口，出口比例约占总销售量的30%。此外，我国还开发出以乙醇为溶剂，由环戊二烯连续电解合成二茂铁和用醇钠法将戊二烯合成二茂铁的新工艺，转化率在60%以上。目前兰州石油化工公司等已经用二茂铁调制93号汽油，二茂铁及其衍生物生产在逐步发展，国内已经有丹阳金象化工厂、扬州天发材料厂等企业生产。

碳五的开发利用途径极为广阔，本书作者主要根据我国的碳五资源情况，提出了环戊二烯、间戊二烯和异戊二烯的精细化工利用方案，包括制备高纯双环戊二

烯、戊二醛、金刚烷、环戊烷、双环戊二烯石油树脂、环戊二烯三羰基锰、环戊烷、二茂铁、甲基环戊二烯、苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯（SIS）嵌段共聚物、聚异戊二烯橡胶、甲基庚烯酮、柠檬醛、二氯菊酸乙酯、丁基橡胶和戊二酸等。

第一、二、四章由乔庆东编写，第三、五、六章由王海彦编写，第七、八章由李琪编写。最后由乔庆东统一编辑整理成书。书中错误之处，欢迎批评指正。

作 者

2014年5月12日于辽宁石油化工大学

目 录

第一章 总论	001
第一节 前言	001
第二节 裂解碳五组分利用国内外现状	002
一、裂解碳五组分的精细化工利用途径	002
二、国外碳五馏分的利用现状	008
三、国内碳五馏分的利用现状	009
第三节 碳五馏分精细化工利用的方向与原则	010
一、异戊二烯的利用	010
二、(双)环戊二烯的利用	011
三、间戊二烯的利用	012
四、其他组分的利用	012
五、开发碳五馏分精细化工产品的原则	012
第二章 裂解碳五馏分的组成和分离	014
第一节 裂解碳五资源简介	015
一、国内裂解碳五馏分资源概况	015
二、裂解碳五馏分的典型组成	015
第二节 裂解碳五资源分离及综合利用状况	017
一、裂解碳五馏分的分离	017
二、裂解碳五馏分综合利用的状况	023
第三章 异戊二烯的利用	025
第一节 异戊二烯生产工艺	026
一、脱氢法生产异戊二烯	026
二、化学合成法生产异戊二烯	028
三、裂解碳五馏分萃取蒸馏法	031
第二节 苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯嵌段共聚物 (SIS)	031
一、SIS的性质与用途	031
二、国内外市场现状及预测	032

三、生产规模及原材料来源	033
四、SIS的生产工艺	034
第三节 聚异戊二烯橡胶	035
一、异戊二烯原料来源	035
二、聚异戊二烯橡胶生产现状	035
三、异戊二烯橡胶生产技术	039
四、发展聚异戊二烯橡胶建议	043
第四节 反式-1,4-聚异戊二烯(TPI)橡胶	044
一、TPI的结构与性能	044
二、TPI的主要用途	045
三、技术现状	045
四、TPI的合成方法	046
五、主要原料及设备	047
第五节 异戊二烯低聚物	047
一、异戊二烯低聚物的特点	047
二、异戊二烯低聚物的用途	047
三、异戊二烯低聚物的生产方法	048
四、原材料与催化剂	048
第六节 甲基庚烯酮	049
一、性质与用途	049
二、生产技术路线	049
三、甲基庚烯酮的应用	051
第七节 柠檬醛	052
一、柠檬醛的基本性质	052
二、柠檬醛的合成路线	054
第八节 二氯菊酸乙酯	057
一、二氯菊酸乙酯的基本性质	057
二、二氯菊酸乙酯的合成方法	058
三、顺式二氯菊酸甲酯的合成	058
第九节 丁基橡胶	059
一、丁基橡胶生产现状	059
二、丁基橡胶的应用领域	060
三、丁基橡胶的生产技术	061
四、丁基橡胶的新技术研发	063
五、丁基橡胶的市场需求和产能预测	064

第四章 双环戊二烯的利用	065
第一节 环戊二烯的性质及分离	065
一、环戊二烯的性质	065
二、环戊二烯的制备	066
三、环戊二烯的分离	067
四、环戊二烯的贮存、运输和安全	068
五、环戊二烯的用途	069
第二节 双环戊二烯石油树脂	070
一、双环戊二烯石油树脂的性质	070
二、双环戊二烯石油树脂的应用	070
三、双环戊二烯石油树脂生产与需求	071
四、双环戊二烯石油树脂生产技术	073
五、经济效益分析	073
第三节 戊二醛	074
一、戊二醛基本性质	074
二、戊二醛的用途	074
三、戊二醛生产与市场	076
四、戊二醛生产工艺	077
五、投资估算及效益预测	078
第四节 金刚烷	079
一、金刚烷的基本性质	079
二、金刚烷的用途	079
三、金刚烷的合成技术	081
四、金刚烷的市场分析	081
第五节 环戊二烯三羰基锰	082
一、环戊二烯三羰基锰的基本性质	082
二、环戊二烯三羰基锰的用途	082
三、环戊二烯三羰基锰的生产技术	084
四、环戊二烯三羰基锰的市场情况	086
五、环戊二烯三羰基锰的经济效益分析	087
第六节 环戊烷	088
一、环戊烷的基本性质	088
二、环戊烷的用途	088
三、环戊烷的生产技术	089
四、环戊烷的市场情况	091

第七节 精制双环戊二烯	095
一、双环戊二烯的基本性质	095
二、双环戊二烯的应用	095
三、双环戊二烯的市场分析	097
四、双环戊二烯的生产技术	098
五、双环戊二烯的经济效益分析	100
第八节 乙叉降冰片烯	101
一、乙叉降冰片烯的基本性质	101
二、乙叉降冰片烯的用途	101
三、乙叉降冰片烯的合成方法	102
四、乙叉降冰片烯合成的催化剂	102
第九节 二茂铁	104
一、二茂铁的基本性质	104
二、二茂铁的用途	106
三、二茂铁的合成技术	108
四、二茂铁的市场情况	111
第十节 甲基环戊二烯	112
一、甲基环戊二烯的性质及应用	112
二、甲基环戊二烯的合成方法	112
第五章 间戊二烯的利用	115
第一节 间戊二烯石油树脂	115
一、间戊二烯石油树脂的性质	115
二、间戊二烯石油树脂的用途	115
三、间戊二烯石油树脂的市场	115
四、间戊二烯石油树脂的生产技术	116
第二节 甲基四氢苯酐和甲基六氢苯酐	118
一、甲基四氢苯酐和甲基六氢苯酐的性质	118
二、甲基四氢苯酐和甲基六氢苯酐的用途	119
三、甲基四氢苯酐和甲基六氢苯酐的市场	119
四、甲基四氢苯酐和甲基六氢苯酐的生产技术	119
第六章 异戊烯的利用	122
一、异戊烯的性质与用途	122
二、高纯异戊烯的生产工艺	122
三、异戊烯生产的消耗指标	125

四、异戊烯市场预测和经济分析	126
第七章 1-戊烯的利用	127
第一节 1-戊烯的基本性质的分离方法	127
一、1-戊烯的基本性质	127
二、1-戊烯的分离方法	127
第二节 1-戊烯与异丁烷的烷基化生产清洁汽油	128
一、硫酸催化法	128
二、三氟甲磺酸 ($\text{CF}_3\text{SO}_3\text{H}$) 催化法	129
第八章 环戊烯的利用	131
第一节 环戊烯氧化合成戊二醛	131
一、戊二醛的性质	131
二、戊二醛的应用	131
三、环戊烯氧化法合成戊二醛的方法	133
四、离子液体中环戊烯氧化合成戊二醛	136
第二节 环戊烯选择氧化合成戊二酸	137
一、戊二酸的应用	137
二、戊二酸的合成方法	137
第三节 环戊烯水合制备环戊醇	138
一、环戊醇的应用	138
二、环戊烯水合制备环戊醇	138
第四节 环戊烯水合脱氢法合成环戊酮	141
一、环戊烯非催化剂直接氧化法	142
二、环戊烯水合再脱氢法	143
三、Wacker 催化剂法	143
四、其他合成方法	144
参考文献	146

第一章 总论

第一节 前言

裂解碳五（简称碳五馏分）是石脑油及其他重质裂解原料蒸汽裂解制乙烯过程中形成的副产物，可从裂解汽油中用精馏的方法得到。碳五馏分中含有许多很有价值的化工原料，如异戊二烯、环戊二烯（通常以二聚体即双环戊二烯的形式存在）、间戊二烯、异戊烯、1-戊烯、环戊烷、环戊烯、异戊烷、正戊烷等。其中，异戊二烯、环戊二烯和间戊二烯的含量占裂解碳五馏分的45%~55%。这些双烯烃和单烯烃由于其特殊的分子结构，化学性质活泼，可以合成许多高附加值的精细化工产品，是化工利用的宝贵资源。美国和日本是碳五综合利用最好的国家，碳五利用率达到70%~85%。埃克森美孚（Exxon-Mobil）、日本瑞翁（Zeon）、固特异（Goodyear）、科腾（Kraton）、可乐丽（Kuraray）公司等是世界上碳五资源利用最好的公司。

近年来，我国乙烯工业发展迅速。2010年，我国有两套新建乙烯装置投产，分别是天津石化100万t/a乙烯及配套项目，华锦通达化工公司在辽宁盘锦的45万t/a乙烯项目。两个项目投产后，我国乙烯产能达1 503.5万t/a，比3 a前增长50.8%。2011年，我国又新增乙烯产能181万t/a。抚顺石化80万t/a裂解装置于2011年上半年投产，四川石化80万t/a裂解装置于2011年底投产，兰州石化在2011年将裂解装置产能从71万t/a扩至92万t/a。2013年，我国新增240万t/a乙烯产能，包括武汉石化80万t/a新建裂解装置，大庆石化将乙烯产能从60万t/a扩至120万t/a。

我国是碳五资源相对丰富国家之一。到2007年年底，共有乙烯生产企业19家，总生产能力达到1 025万t/a，而作为副产品的碳五约占乙烯产量的15%，达153.8万t/a，2010年则达到266.1万t/a（表1-1）。

表 1-1 2007年及2010年国内裂解碳五资源状况

万 t/a

地区	2007年		2010年	
	乙烯能力	碳五产量	乙烯能力	碳五产量
华东	333.0	50.0	600.0	90.0
华北	198.1	29.7	237.0	35.6
华南	197.3	29.6	200.0	30.0
东北	183.3	27.5	465.0	69.8

续表

地区	2007年		2010年	
	乙烯能力	碳五产量	乙烯能力	碳五产量
西北	92.10	13.8	192.0	28.8
华中	21.10	3.20	80.0	12.0
合计	1 024.9	153.8	1 774	266.1

根据国外经验，乙烯裂解碳五馏分加工利用的经济规模是至少能获得2.0万t/a异戊二烯。由于我国乙烯装置分布较散，规模较小，碳五馏分绝大部分作为燃料烧掉。因此，必须集中碳五资源，实现规模化利用，形成有一定经济规模的产业开发，才能获得可观的经济效益。在碳五资源利用上，应将本地区的几套乙烯的副产碳五集中后进行规模分离。如美国固特异公司的8.4万t/a异戊二烯的生产能力就是集中了雪佛龙、陶氏、埃克森等公司的浓缩碳五。与此同时，碳五资源开发还应搞好综合利用配套，拉长产业链。首先从碳五馏分中单独分离出异戊二烯和环戊二烯，再向中下游产品加工延伸，如聚异戊橡胶、亚甲基降冰片烯（ENB）、二氯菊酸乙酯和甲基庚烯酮等，提浓后的间戊二烯馏分还可用于生产碳五石油树脂。以20万t/a的碳五分离装置为例，经过分离可以得到各种碳五原料（表1-2）。

表 1-2 20 万 t/a 碳五分离装置产品方案

产品名称	等级	产量/（万 t·a ⁻¹ ）
异戊二烯	聚合级	2.816
间戊二烯	聚合级	3.000
环戊二烯	工业级	3.375
抽余油	工业级	10.609

第二节 裂解碳五组分利用国内外现状

一、裂解碳五组分的精细化工利用途径

碳五馏分经过分离后，可以得到异戊二烯、间戊二烯、双环戊二烯和抽余油。以分离提纯后的碳五各组分为原料，可以生产品种繁多的石油化学品、专用化学品、精细化学品和医药化学品。

1. 异戊二烯的性质与利用途径

(1) 异戊二烯的性质

异戊二烯的化学名称为 2-甲基-1,3-丁二烯，是一种共轭二烯烃。分子式 C₅H₈，分子量 68.11，CAS 号：78-79-5。熔点-120℃，沸点 34.07℃，闪点-48℃，自燃点 220℃，常温下是一种易挥发的无色油状液体，有特殊气味，几乎不溶于水，易溶于醇、醚和大多数烃类化合物。其主要物理性质见表 1-3。

表 1-3 异戊二烯主要物理性质

性质	数值
分子量	68.114
外观 (常温下)	无色液体
气味	有刺激性
沸点 (101.3 kPa) /℃	34.059
熔点 (101.3 kPa) /℃	-145.95
自燃点/℃	220
闪点/℃	-48
密度 (20 ℃) / (g·cm ⁻³)	0.681
黏度 (20 ℃) / (mPa·s)	0.216
折射率/ <i>n</i> _D ²⁰	1.421 94
燃烧热 (25 ℃) /kJ·mol ⁻³	3 159.67
汽化热 (25 ℃) /kJ·mol ⁻³	26.78
临界压力/MPa	3.847
临界温度/℃	211
临界体积/ (cm ³ ·g ⁻¹)	276
爆炸极限 (总压0.13 MPa, 25 ℃空气中) / (%)	上限7~9.7, 下限1~1.5
溶解性	几乎不溶于水, 易溶于醇、醚和大多数烃类化合物

异戊二烯含有共轭双键，化学性质活泼，易发生均聚和共聚反应，能与许多物质发生反应生成新的化合物。

(2) 异戊二烯的利用途径

在所有碳五馏分中，目前以异戊二烯 Isoprene（简称 IP）的用途最为广泛，异戊二烯（IP）主要用途有：①合成高分子化合物系列，包括异戊橡胶、丁基橡胶、负型光刻胶原胶、IP 与苯乙烯嵌段共聚体（SIS）等。②合成萜烯类化合物，制取新激素、维生素 E、化妆品角鲨烷、香料等。③生产高效、低毒农药杀虫剂二氯菊酸乙酯。2004 年世界消费异戊二烯 70.8 万 t/a，其中 95% 以上用于生产异戊橡胶、SIS 和丁基橡胶三大产品，剩余少量用于生产维生素、医药、香料等精细化工产品。

从世界异戊二烯总的消费情况分析，丁基橡胶生产中异戊二烯用量较少，只占异戊二烯用量约 4%；异戊橡胶和 SIS 都是以异戊二烯为主要原料，消费量均占异戊二烯总量 40% 以上。

2. 双环戊二烯

(1) 双环戊二烯及环戊二烯的性质

双环戊二烯分子式 C₁₀H₁₂，分子量 132.204，无色结晶，有类似樟脑气味。相对密度 0.979 (20/20 ℃)。沸点 170 ℃（分解）。凝固点 31.5 ℃。折射率 *n*_D (35 ℃) 1.5061。闪点 32.22 ℃。自燃点 680 ℃。溶于醇。双环戊二烯有 α 和 β 二种异构体，α 异构体凝固点 33 ℃，β 异构体凝固点 19.5 ℃。双环戊二烯中主要含的是 α 异构体，沸点 170 ℃。

环戊二烯（cyclopentadiene）是一种化学活性很高的脂环烃，分子式 C₅H₆。无色液

体。熔点-97.542 ℃，沸点 40 ℃，相对密度 0.802 1 (20 / 4 ℃)。环戊二烯在室温下聚合，生成二聚环戊二烯，即双环戊二烯。在 100 ℃以上聚合，生成三聚体、四聚体。双环戊二烯加热时部分分解成环戊二烯，在常压下进行蒸馏时，使分馏柱顶上的温度保持在 41 ~ 42 ℃，即可安全转变为环戊二烯。

环戊二烯是化学活性很高的共轭二烯，容易与不饱和化合物发生反应，生成数目众多的环状化合物。环戊二烯含有活性亚甲基，能与醛、酮缩合，生成有颜色的富烯衍生物。环戊二烯与过渡金属的盐作用，可生成茂金属化合物，例如二茂铁。

环戊二烯常温下是一种无色油状液体，有刺激性萜烯气味。双环戊二烯常温下为无色结晶，其主要物理性质见表 1-4。

表 1-4 环戊二烯与双环戊二烯主要物理性质

性质	环戊二烯	双环戊二烯
分子量	66.10	132.21
外观 (常温下)	无色液体	无色结晶
气味	有刺激性萜烯气味	樟脑味
沸点 (101.3 kPa) /℃	41.5	170
熔点 (101.3 kPa) /℃	-85	31.5
在空气中自燃点/℃	640	680
在氧气中自燃点/℃	—	510
闪点/℃	<-50	41
密度 (20℃) /g·cm ⁻³	0.800 4	0.979 0
折射率/ <i>n</i> _D ²⁰	1.442 9	1.506 1 (<i>n</i> _D ³⁵)
燃烧热/ (kJ·mol ⁻³)	703	1 738.4
汽化热/ (kJ·mol ⁻³)	7.0	9.17
裂解热/ (kJ·mol ⁻³)	—	24.58
临界压力/MPa	5.17	3.04
临界温度/℃	232	283
介电常数	2.43	2.43
溶解性	不溶于水，易溶于醇、醚和大多数烃类 溶于大部分烃，与醇醚混溶，30℃水中溶解度为 0.04% (w)	

环戊二烯含有两个共轭双键和一个活泼的亚甲基，化学性质活泼，易发生多种反应。

- ①环戊二烯的加成反应：环戊二烯与氢和卤素发生加成反应，如加氢生成异戊烯。
- ②环戊二烯的双烯加成反应 (Diels-Alder 反应)：环戊二烯与含有双键的化合物进行加成反应，生成环状化合物。

③齐聚与解聚反应：环戊二烯在室温下即可进行齐聚，生成双环戊二烯。在高于130℃时，双环戊二烯解聚为环戊二烯。

④亚甲基的缩合反应：环戊二烯的亚甲基相当活泼，可与酮类和醛类进行缩合反应。

⑤氧化反应：环戊二烯与氧自发地进行反应，生成褐色胶状过氧化物；在氧化钒作用下，在400~525℃，气相氧化生成顺丁烯二酸酐，用H₂O₂氧化则生成羟基或二羟基环戊二烯。

⑥聚合反应：双环戊二烯经热聚合生成双环戊二烯石油树脂；采用Ziegler-Natta型催化剂，双环戊二烯开环聚合，得到反应注塑成型树脂。双环戊二烯还可以与醇、酚、酸酐、不饱和羧酸、不饱和芳烃共聚形成改性石油树脂。

(2) 用途

高纯度双环戊二烯用于生产聚双环戊二烯（注塑成型）、香料中间体、光盘材料、农用化学品、不饱和聚酯、阻燃剂及其他中间体。纯度为75%~85%的双环戊二烯用于生产脂环族石油树脂、加氢石油树脂、不饱和聚酯和各类中间体；环戊二烯主要用于生产戊二醛、戊二醇及其他产品。

3. 间戊二烯

(1) 间戊二烯的性质

间戊二烯的化学名是1,3-戊二烯（1,3-pentadiene），常温下是一种无色油状液体，不溶于水，易溶于醇、醚和大多数烃类化合物。其主要物理性质见表1-5。

表 1-5 间戊二烯主要物理性质

性质	顺式	反式	混合
分子量	68.114	68.114	68.114
沸点（101.3 kPa）/℃	44.068	43.032	44.450
熔点（101.3 kPa）/℃	-140.82	-87.47	-92.740
密度（20℃）/（g·cm ⁻³ ）	0.691 02	0.671 02	0.693
闪点/℃	—	—	-28.800

间戊二烯含有共轭双键，化学性质活泼，易发生均聚和共聚反应，能与许多物质发生反应生成新的化合物。

①加成反应：间戊二烯可以与氢、烃类、卤素，以及含硫、含氮、含卤化合物发生加成反应。

②双烯加成反应：间戊二烯在光和热的作用下，与含有双键的化合物，如顺酐进行加成反应，生成环状化合物。

③聚合反应：间戊二烯经聚合生成脂肪族石油树脂。

④共聚反应：与反式丁二烯共聚反应得丁戊橡胶，如与苯乙烯共聚物是优良的涂料。

(2) 间戊二烯的用途

间戊二烯主要用于生产高级脂肪族石油树脂，还可以生产香料中间体、环氧树脂固

化剂、涂料、油墨、黏合剂等。

4. 正戊烷

(1) 性质

正戊烷是无色透明液体，有香味，主要性质见表1-6。

表 1-6 正戊烷的主要性质

性质	数值
分子量	72.15
外观（常温下）	无色透明液体
气味	香味
沸点（101.3 kPa）/℃	36
熔点（101.3 kPa）/℃	-131
闪点/℃	-5
溶解性	不溶于水，难溶于醇，易溶于醚和大多数烃类化合物

(2) 用途

工业正戊烷产品主要用作溶剂、气雾剂、发泡剂和分子筛脱附剂等。

5. 异戊烷

(1) 性质

异戊烷是无色透明易挥发液体，有令人愉快的芳香气味，主要性质见表1-7。

表 1-7 异戊烷的主要性质

性质	数值
分子量	72.15
外观（常温下）	无色透明的易挥发液体
气味	令人愉快的芳香气味
沸点（101.3 kPa）/℃	27.8
相对密度	0.62
闪点/℃	-18
溶解性	不溶于水，难溶于醇，易溶于醚和大多数烃类化合物

(2) 用途

异戊烷主要用作溶剂和发泡剂，可以脱氢生产异戊烯和异戊二烯。

6. 环戊烷

(1) 性质

环戊烷是一种无色透明液体，有苯样的气味，其主要性质见表1-8。

表 1-8 环戊烷主要性质

性质	数值
外观（常温下）	无色透明液体
气味	苯样的气味

续表

性质	数值
沸点 (101.3 kPa) /℃	49.3
熔点 (101.3 kPa) /℃	-93.7
自燃点/℃	380
闪点/℃	-25
密度 (20 ℃) / (g·cm ⁻³)	0.745
燃烧热 (25 ℃) / (kJ·mol ⁻³)	3 293
临界温度/℃	238.6
爆炸极限 (总压0.13 MPa, 25℃空气中) / (%) V	下限 1.4
溶解性	不溶于水, 易溶于醇、醚和大多数烃类化合物

(2) 用途

环戊烷主要用作溶剂和发泡剂。环戊烷作为硬质聚氨酯泡沫的新型发泡剂, 用于替代对大气臭氧层有破坏作用的全氯氟烃 (CFCs), 现已广泛应用于生产无氟冰箱、冰柜行业以及冷库、管线保温等领域。随着蒙特利尔等公约规定的禁用消耗臭氧层主要物质 (OSD) 期限的临近, CFCs 和 HCFCs 类产品不久将被禁用, 环戊烷将成为聚氨酯发泡剂领域的主角。

7. 异戊烯

异戊烯有 3 个同分异构体, 分别是 2-甲基-1-丁烯、2-甲基-2-丁烯和 3-甲基-1-丁烯, 其中最重要的是 2-甲基-2-丁烯。

异戊烯常温下是一种无色易挥发性液体, 有难闻气味, 不溶于水, 易溶于醇、醚和大多数烃类化合物。其主要物理性质见表 1-9。

表 1-9 异戊烯主要物理性质

性质	2-甲基-1-丁烯	2-甲基-2-丁烯	3-甲基-1-丁烯
熔点/℃	-137.47	-133.768	-168.528
沸点/℃	31.05	38.6	20.1
冰点/℃	-137.52	—	—
密度 (20 ℃) / (g·cm ⁻³)	0.650 4	0.662 3	0.627 2
折射率/ n_D^{20}	1.377 8	1.387 4	1.364 3
溶解性	易溶于乙醇, 不溶于水		

异戊烯化学性质活泼, 能与许多物质发生反应生成新的化合物。

①加成反应: 异戊烯与氢、醇、卤素、水等发生加成反应, 生成异戊烷、TAME、叔戊醇等。

②脱氢反应: 在催化剂的作用下, 异戊烯脱氢生成异戊二烯。