

苯及其工业衍生物

〔英〕 E.G. 汉考克 主编

化 学 工 业 出 版 社

苯及其工业衍生物

[英]E.G. 汉考克 主编

穆光照 等译

原玉明 李世琪 等校

化学工业出版社

内 容 提 要

本书对苯及其工业衍生物作了全面系统的介绍。全书分十二章,前五章对苯的发展史、来源、性质、分析方法、毒性、贮运等作了全面介绍。后七章对其衍生物在农药、医药、染料、轻工、国防工业的应用,工艺路线及欧美、日本等国在此领域的技术经济情况都作了详细介绍和比较。

本书由刘崇志(序言)、卢业强(1、2、5章)、孙本慧(6章)、许晓慧(4章)、白庚辛(3章)、穆光照(6~12章)等译,程洪舫(1、2章)、余孟杰(3~6章)、原玉明、李世琪(7~12章)等校。

本书可供科研、生产、设计及管理人员阅读。

E. G. HANCOCK

BENZENE AND ITS INDUSTRIAL DERIVATIVES

ERNEST BENN LIMITED, LONDON & TONBRIDGE, 1975

苯及其工业衍生物

穆光照 等译

原玉明 李世琪 等校

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $19\frac{1}{2}$ 字数538千字印数1—2,800

1982年11月北京第1版1982年11月北京第1次印刷

统一书号15063·3380定价2.40元

前 言

本书类似已出版的《Acetylene》、《Ethylene》和《Propylene》，最初系由已故S. A. 米勒（Miller）博士选题，并据其生前拟定的提纲，由其推荐的作者们完稿。本编者尽量遵循米勒博士规定的方针，并另请几位作者将必要的章节加以补充。

苯在工业上受到重视，主要是作为动力燃料的一种组分、溶剂，同时又是生产染料、药物以及一系列精细化学品的原料；自第二次世界大战以来，苯逐渐成为生产塑料、洗涤剂 and 合成纤维的重要原料。此外，四十年代前，几乎全部苯都是煤的焦化副产品，而现今苯的需求量远远超过了这种来源的资源。从石油生产了几十万吨苯，已是近三十年工业成就之一。

因此，本书收入苯的最新生产法、苯的重要用途、苯的物理性质和其他性质以及检验方法。每篇均为各专门学科的作者的研究成果。

沿袭上述已出版丛书的编辑原则，力求科研资料与工艺资料适当平衡。作者们要求刊出重要文献，虽然对这一要求必然众说纷纭，但我们确信，本书不仅对科研人员，而且对生产人员、设计人员、科技人员以及专职推销人员均有裨益。

编者仅对全体作者不辞辛苦地供稿致谢，因编辑工作变动而造成的一些繁琐情况表示歉意。

稿源面广，以致难以及时出版，为本书不利条件之一。由于系分卷出版，势必延迟较早收到的篇章出版，未能如作者之愿尽快问世，因此，仅向及时脱稿的许多篇章的作者道歉。虽然在校对阶段采用了较新的统计方法尽量缩短出版时间，但是对于本书出版前三年即完稿的那些篇章，当然不能全面解决问题。

另一方面，当前形势变化而使苯的产销进一步复杂化。一般说

来，1970年期间化学品需求量下降，导致基建投资大幅度缩减，尽管1971年底和1972年情况有了变化，但基本化学品和塑料的生产是否能适应迅速增长的需求，似乎举棋未定。继之，1971年到1972年期间，传统的货币固定汇率被打破，即美元贬值一半，并允许对主要欧洲国家货币浮动，同时日元先升值，随后贬值，英镑、法郎先后允许浮动，主要是向下浮动，等等。涨价的一部分原因是，销售者不愿冒货币浮动的风险；另一部分原因是，工人面对货币持续贬值的状况，为保持并提高生活水平而不断要求增加工资，从而一直上升的劳动工资率必然造成涨价现象。许多国家，包括英国和美国企图采取控制价格的措施制止物价高涨。特别是这种措施施加于基本化学品和塑料的原料工业时，厂商不可能在报酬递减的情况下继续生产，因而导致供不应求现象。影响最剧者实为1973年阿拉伯国家实行限制原油出口政策，并坚决增税提高原油价格。这样一来，作为几乎全部化学品、塑料和合成纤维现代工业原料的石油，其价格势必猛涨。

目前，上述种种情况对苯产销的影响究竟如何？首先，须把暂时现象与长远影响分别考虑。限制石油出口问题似乎取决于中东问题的解决，但是，即使拖延下去，某些中东国家开始放松限制已昭然若揭。总而言之，仅仅是针对那些支持中东国家中持不同政见者的国家而已，因此，可以把这种情况看作是暂时的影响，但未必会暂时跌价。只有新油田大规模投产，生产过量的石油，石油价格才会相应跌落。

由于大部分苯是用石油生产的，原料加价，苯必然涨价。虽然煤价不高，但不难看出，鉴于一些国家矿工对工资的要求，也会使煤价逐渐增高，用煤代替石油制苯，两者成本相同。每况愈下的局面会持续多久，要看各种产品需求的伸缩性如何。目前，这正是许多工业财团经济部门研究的课题，本书不作评述。

1974年1月，本书第二章作者预料，今后数年内苯及其衍生物在欧洲的供求大体上保持平衡，也许是局部短缺现象，我们同该作者进行了讨论。据信，美国许多石油公司正在购买或考虑购买大片

蕴藏煤层的土地，打算用煤代替石油补充燃料和化学制品的生产。如今，从煤焦化的传统方法生产苯，即使考虑到现代脱烃法的获得量，每吨煤最多回收大约三加仑苯，因此苯仅是一种副产品。此外，从煤气中回收苯还会降低煤气的热值，回收和精制成本计算在内，苯的价格势必相应增加，为此，可使苯作为燃料留在煤气中。燃料绝对缺乏的场合，例如钢厂，在任何情况下都不回收苯。目前已有改进的设计方案，可使钢厂利用富苯煤气而不会有不利之处。天然气含一些苯，含量多少随资源而异，北海天然气中已确定含苯，含量虽少，若苯价仍上涨，则也值得回收。

从煤低温焦化也可得到液态烃，例如生产无烟燃料时，可用Fischer Tropsch法或其改良法，另外也可用煤或煤产品加氢法。用这些方法制芳烃，大多数国家已不再重视，因为用石油作原料制烃，成本较低。但是可以肯定，煤将会被赋予新的生命。不论何种原料，包括天然气在内，都不能直接得到纯苯，必须经过抽提和精制。一般常用的最佳方法是把全部液体馏分催化重整，这能使馏分中芳烃含量大为增加，然后再抽提苯。必要时，可将高碳芳烃脱烷基，以增加产量，产品富含环烷烃，加氢工艺尤适合于本过程。据称，利用此法每吨煤可得苯多达15加仑，增加产量的研究仍在发展中。

许多芳烃衍生物的另一主要来源是从适当原料中抽提出的环己烷，迄今为止，这个方法似乎是通过超精馏进行的，但是苯的短缺将刺激研究其他分离技术。

除上段所述外，确信目前情况会推动更为广泛地研究液态烃制苯技术，用更有效的催化剂，更好的建厂设计，包括更合理利用热能和更有效的分离技术以及逐步发展的方法来增加苯的回收率，这些技术措施同样也适用于苯加工工艺过程，多生产一吨苯衍生物就能抵上100吨苯，有助于缓和较高的苯价和苯的短缺。

本书付印时（1975年1月），显然一批新厂正在设计或正在建设，苯的来源不成问题，主要是苯的价格将由未来的用途决定。由于1974年石油价格猛涨，苯的价格比本书完成时增高了1.5倍。显

然，这一定会影响所有的苯衍生物的生产成本，并可能减少某些衍生物的需求，特别是那些改变原料路线的最终产品，以至改变现有品种的最终产品。在本书不能再度延期出版的情况下，对此就不能深入探讨了，特此予以说明。

书中单位除另有说明者外，温度均为摄氏度数，加仑均为英加仑，吨均为公吨。

E. G. 汉考克

目 录

第一章 苯的发现及发展史

F. A. 杰克曼

1.1 早期的焦化试验	1
1.2 最早的工业用途	4
1.3 早期的理论研究和苯的分子结构	6
1.4 由石油制取苯	8
1.5 苯用途的发展	12
1.6 用作燃料的苯	17
1.7 七十年代苯的情况	19
1.8 苯的未来展望	21
1.9 1965~1970年世界上苯的生产情况	25
1.10 苯的发展远景	25
参考文献	28

第二章 由煤制取苯

K. H. V. 弗伦奇

2.1 引言	29
2.2 煤的焦化过程	30
2.3 苯的回收	37
2.4 粗苯精制成合成级苯	43
2.5 今后的发展趋向	54
参考文献	56

第三章 石 油 苯

J. R. 霍斯, G. M. 罗厄尔

3.0 引言	57
3.1 以苯为主要产品的工艺	58
3.2 副产苯的工艺	64

3.3	“三苯”馏分的中间处理	67
3.4	由高级芳烃生产苯	69
3.5	石油苯的提纯方法	72
	参考文献	98

第四章 苯的物理性质

F. A. 杰克曼, R. W. 盖兰特, G. A. M. 迪朋, M. A. 戴泽尤

4.1	一般性质	100
4.2	苯的热力学性能和运输性能	115
4.3	苯与其他化合物形成二元或多元体系的相平衡和溶解度	121
	参考文献	178

第五章 分析与贮存

K. H. V. 弗伦奇

5.1	技术规格	196
5.2	化学分析方法	197
5.3	物理分析方法	210
5.4	苯的毒性	215
5.5	贮存和运输	222
	参考文献	227

第六章 环己烷及其衍生物

F. 爱斯查德, A. 福格, D. 维昆恩, J. 阿拉基, C. 布森,
G. D. 艾伦 和 J. C. 马里恩

6.1	环己烷	229
6.2	环己烷的氧化反应	246
6.3	聚酰胺纤维及其母体	266
	参考文献	292

第七章 乙苯、苯乙烯和苯乙烯聚合物

R. 兰多, R. E. 利多夫, J. 哈伯绍和 A. N. 罗珀

7.1	引言	294
-----	----------	-----

7.2 乙苯的生产	295
7.3 苯乙烯单体的生产	314
7.4 苯乙烯的聚合	327
参考文献	355

第八章 苯酚及其衍生物

W. T. 赖克尔, F. M. 康拉德和 J. R. 布鲁克斯

8.1 历史概况	359
8.2 毒理学	359
8.3 纯苯酚的物理性质	360
8.4 化学性质	362
8.5 经济情况	368
8.6 苯酚的生产	375
8.7 卤代酚类	393
8.8 烷基苯酚类	400
8.9 双酚 A	416
8.10 酚醛树脂	437
8.11 水杨酸、阿司匹灵和其它药物	456
参考文献	463

第九章 洗涤剂烷基苯

K. 琼斯

9.1 引言	468
9.2 以四聚丙烯为基础的具有支链的烷基苯磺酸盐 (ABS)	469
9.3 生物学上软的直链烷基苯磺酸盐 (LAS)	478
9.4 生产和消耗	492
参考文献	493

第十章 硝 化

S. T. 斯温芬

10.1 硝基苯	496
10.2 苯胺	505

10.3	苯胺染料	521
10.4	制造橡胶用的化学药品	524
10.5	环己胺	528
10.6	二硝基苯	530
10.7	炸药	532
10.8	苯二胺	534
10.9	氨基苯酚类	541
10.10	有关产物	544
	参考文献	553

第十一章 顺丁烯二酸酐（顺酐）

R. O. 克尔

11.1	引言	556
11.2	顺酐的生产	557
11.3	反丁烯二酸	564
11.4	顺酐、顺丁烯二酸和反丁烯二酸的性质	566
11.5	生产和消耗的统计	571
11.6	某些主要的用途	574
	参考文献	583

第十二章 苯在工业上的其它用途

R. A. 弗雷泽

12.1	发动机燃料	584
12.2	溶剂苯	585
12.3	苯磺酸类	586
12.4	苯的卤代化合物	589
12.5	农药	594
12.6	二元酚	599
12.7	蒽醌	606
12.8	多元苯	608
	参考文献	611

第一章 苯的发现及发展史

F. A. 杰克曼

1.1 早期的焦化试验

十八世纪末，在许多领域内，科学设想和发明创造的成果比历史上的任何时期都要丰硕。其中许多成果是由各行各业人员组成的社会团体取得的。他们完全为了做些智能训练，喜欢接触和讨论一些科学技术方面的最新概念。现在，他们可能被称为一些热情的业余爱好者，但在我们今天生活的高度专业化的社会中，像他们这样的人几乎是没的。

其中，在地方上声望比较高的一个组织是伯明翰“月光协会”，大约在1766~1800年期间，这个协会非常活跃。

该协会成员有个惯例，在每月接近月圆的那个星期一下午，轮流在各成员的家里聚会进行科学方面的讨论。当时还没有路灯，因此，晚饭后他们便踏着月光漫步回家，该协会的名称就是这样得来的。

该协会的人数从来不太多，其成员和客人中，包括一些著名的科学家和工程师，如J. 普里斯特利 (Priestley) 博士、M. 博尔顿 (Boulton)、J. 瓦特 (Watt)、J. 韦奇伍德 (Wedgwood)、W. 赫谢尔 (Herschel)、J. 斯米顿 (Smeaton) (Eddystone 灯塔的建造者) 和大出版商J. 巴斯克维尔 (Baskerville)。

博尔顿和瓦特曾是索霍 (Soho) 铁厂的厂主，该厂曾根据瓦特的理想建造了许多蒸汽机，并铸造了许多当时英国使用的货币。该铁厂一位被培养当机械师的青年学徒名叫W. 默多克 (Murdoch)，后来晋升为工厂管理者，如今人们把他称为“瓦斯工业之父”。他也是“月光协会”的一个成员，可能是会员们的学术讨论，

引导他去研究热对含碳物质的影响。

默多克于1792年开始试验，五年后，终于获得了成功，当时已能用煤气来为车间照明。

也许应当提一下：大约在两个世纪以前，特克特 (Turquet) 就曾通过加热安息香 (一种东方香料) 得到了苯甲酸，但直到1834年，米彻尔利希 (Mitscherlich) 才发现苯甲酸与石灰一起蒸馏的作用。这一过程得到的馏分——一种不纯的苯便从此问世了。几乎同时，其他工厂也在鉴定加热各种动植物油而得到的类似产物；也有以煤为原料的，这就是默多克的试验题目。G. T. 阿坎姆 (Accum) 是另一位对煤的蒸馏感兴趣的科学家，他于1803年至1819年间用这种方法生产出了许多产品，其中某些样品至今仍保存在牛津博物馆里。贴着“高度精制香精油”标签的那种样品，最近经现代气液色谱法分析证实，其中确实含有少量苯^[1]。

稍后，一位德国化学家A. W. 霍夫曼 (Hofmann) 对煤加热时所得挥发性产物的性质很感兴趣。他主要由于受英国女皇的丈夫的影响，于1845年27岁时来到英国，在一所新建的皇家化学学院任教，达二十年之久。在学院里他继续探索关于煤焦油的设想，并给部分学生布置了鉴定其组成作业。C. 曼斯菲尔德 (Mansfield) 就是他的学生之一，1847~1850年此人曾在皇家化学学院攻读，后来被认为是煤焦油化学的奠基人。曼斯菲尔德也怀着极大的兴趣追随M. 法拉第 (Faraday) 进行过研究工作，实际上，从1849~1853年，在皇家研究院中也是法拉第的合作者。自1825年起，法拉第就对鱼油和其他类似物质的裂解作过研究，他确实从中分离出苯，即他所谓的“氢的重增碳化物”，实际上，普遍认为 是他首先分离出了较高纯度的苯、测定了苯的某些物理性质并鉴定关于苯的化学组成^[2]。但是，法拉第的兴趣是一种学院式科学家的兴趣，⁽¹⁾是非工业性质的。曼斯菲尔德则不然，虽然他生活很富裕，但总是强烈地希望将自己的研究工作变成工业成果，在这方面，曾受到他的老师霍夫曼的鼓励。师生两人合作的结果，发明了煤焦油组分的分离方法，曼斯菲尔德详尽地检验了蒸馏煤焦油时所得的轻石脑油馏分的

组成。他们使用的提纯方法，毫无疑问是至今仍在广泛使用方法的前驱。当时，提纯时曾依次用硫酸、水和苛性碱洗涤。其主要困难发生在分离不同烃类的蒸馏过程，因为，采用的设备效率是比较低的。然而，通过反复蒸馏，还是得到了苯、甲苯和二甲苯，并发现有 C_9 烃类存在。他为此法申请了专利，并于1848年得到批准，虽然当时有关专利权的法律还不是保护发明者利益的，然而，他后来还是花了许多时间来与冒牌的竞争者作斗争，控告他们侵犯他的专利权。当时确实存在想窃取他研究成果的无耻企图。曼斯菲尔德首创的另一种方法是用结晶法来提纯苯，这种方法如今又受欢迎^[3]。

霍夫曼总是给曼斯菲尔德各方面支持，因为他相信，最简单的煤焦油化合物一定会给化学的发展提供巨大的财富。因此，他们进一步生产了硝基苯，再从硝基苯生产苯胺，业已证明，苯胺是染料工业中非常珍贵的化合物。

曼斯菲尔德再次把苯用于工业的想法引起了人们的注意。他提出了苯的第一个用途——作干洗用的溶剂。由于硝基苯具有与苦杏仁相似的特殊香味，他设想硝基苯可用作香料，甚至可以作为食品的调味剂。但由于硝基苯有毒性，用作调味剂是非常有害的。

应该知道，曼斯菲尔德在从事化工生产方面这些首创性实验时，仅仅30岁。在35岁时，死于实验室的火灾中，当时他正在为1855年的巴黎展览会准备样品，虽然只生活了这样短暂的岁月，但在早期的煤焦油化学史上建树了不可磨灭的功绩。

值得回忆的是：在苯的发展史上，从默多克的第一次探索到曼斯菲尔德去世，前后共六十年。那种生气勃勃的加速研究工作的动力，之所以从历史上消失，其原因在于当时工业上尚未要求用大量苯作化工原料。早期的研究者主要的兴趣是生产用来作照明的气体。正是为了这点，默多克曾试验了许多种含碳的物质，看一看加热时这些物质是否能产生这种气体。

当时，默多克断定煤是一种最有希望的原料。另一方面，法拉第深入研究了波特泊（Portable）煤气公司用鲸油和鱼油制取煤气时生成的副产物。他在研究这种气体冷凝液时，发现了苯的存在。

刚好在霍夫曼和他的学生曼斯菲尔德对煤焦油开始系统地试验时，苯才作为一种商品问世。即使那时霍夫曼已经制出硝基苯和苯胺等苯的衍生物，但需要量仅仅是几百加仑。

但非常重要的一点是煤气本身所含的苯远高于焦油所含的苯，但以前并没有注意这一事实。经过一段漫长的时间，直到以煤为基础的新的染料工业发展起来，苯需求量增加时才被发现。

在很长一段时间内，与英国进行这项研究工作的同时，欧洲，尤其是法国和德国也在进行类似的研究工作。

例如，早在1740年C. 纽曼 (Neumann)^[4]就曾报道他的发现：蒸馏“化石碳”可以得到一种馏分，这种馏分毫无疑问是一种粗苯^[4]，1777年麦克奎尔 (Macquer) 在他编的化学字典里也引证过类似情况。

在德国势必也进行上述的研究，霍夫曼开始是在德国进行研究的，但1845年到达英国后才完成了对煤焦油性质的研究工作。

文献中曾经提到过米彻尔利希的研究工作，他由苯甲酸得到苯，并进行了与法拉第相似的研究工作。通过这项工作，测定出产物的许多物理性质。这两位研究者得出的结果十分相似的。

1.2 最早的工业用途

在十八世纪中叶至十九世纪中叶大约一百年间，由于早期研究者的共同研究结果，发现了煤和动、植物油等许多含碳物质的热解蒸馏会使有机物分解，并生产出一种醇或焦油。还发现，可以将各种不同的化合物分离开来。

从此，便获得了现在称之为“芳烃”的多种碳氢化合物，但最受人注意的是苯，对其物理性质仔细地作了鉴定。

其中最重要的是法拉第用硝酸处理苯的作用，而且观察到硝基苯的特性。后来，曾经是法拉第合作者的曼斯菲尔德继续进行这项工作，并试图使硝基苯成为一种合成香料^[5]。由于硝基苯有毒性，用作食品调味剂的尝试未能成功。但是，曼斯菲尔德继续研究一条更有利的途径，以使硝基苯大量地还原成苯胺，霍夫曼对这种产

品一直很感兴趣。

W. H. 珀金 (Perkin) 在霍夫曼的指导下, 在皇家科学院进行研究工作时, 研究出一种鲜艳的紫色苯胺染料, 其主要成分是一种称为苯胺紫的化合物。珀金抓住时机便在格林弗德 (Greenford) 开始了工业生产, 尽管霍夫曼再三挽留, 还是脱离了皇家科学院的科研工作。

1856年, 苯作为世界上最重要的化工原料之一, 在伦敦西郊的一幢小房里开始问世。稍早, 有一些人开始在工业上用苯作溶剂, 但纯度各异。例如, 曼斯菲尔德总是希望在工业上取得一些成就, 曾经提出用苯作干洗剂, 这是在1859年发现石油之前的多年提法, 而石油才最终使苯用作干洗剂成为现实。事实上, 直到最近才有售瓶装家用洗净苯, 但由于苯易燃又有毒性, 显然是不适宜的。

1820年初, 麦金托什 (Macintosh) 将芳烃馏分 (这种馏分中无疑含有一定量苯) 的另一种用途, 即制造挂胶棉布, 实现工业生产。所用的橡胶溶剂为蒸馏煤焦油所得轻石脑油, 尽管这种产品易燃, 引起多次火灾, 但还是取得了很大的成功, 这种工业大为发展。

这些正是工业上应用苯及其同类碳氢化合物作为溶剂的典型例子, 但没有一种是真正的化学用途, 而珀金的合成染料生产, 才真正是苯在化学工业上首次重要应用。

曾经提到, 煤焦油的蒸馏产率很低; 珀金方法的工业应用, 使得苯严重短缺。幸运的是, 一种流动性良好的原料已经制出。1860年期间, 几位研究者试验了不同化学试剂对煤气的作用。他们发现, 当煤气鼓泡通过硝酸时, 明显出现具有苦杏仁特殊气味的硝基苯。G. E. 戴维斯 (Davis) 在1869年就注意到了这种现象^[6]。而在更早一些时候, 卡罗 (Caro) 博士在罗伯特, 代尔 (Roberts, Dale) 公司工作时, 就有过类似的发现。但这个公司不想继续进行这种研究, 只是卡罗博士返回德国在巴登 (Badische) 公司工作时才完成了此项研究, 从而在1869年提出了用油洗法从煤焦油中提取苯的专利。从此, 苯的生产便在以后的研究中扩展到新的化学用场。当时, 有两起与医学界有关的事件对苯化学的影响比其它行业都大。

第一起是1867年利斯特 (Lister) 发现了苯酚的防腐性。苯酚也是煤焦油精制产物, 毫无疑问, 起初是能满足供应的。

人们曾经了解, 苯与硫酸反应生成苯磺酸, 苯磺酸与熔融碱一起熔化可得苯酚。

特平 (Turpin) 于1885年发现了三硝基苯酚 (苦味酸) 的爆炸性质, 多年来这种合成方法没有在工业上应用。仅当南非战争引起对苦味酸的大量需要时, 人们才去合成苯酚, 1899年瑞德霍利地 (Read Holliday) 公司开始工业生产这种化合物^[7]。那时开始的合成工业已成为当代许多合成纤维和塑料大规模生产的基础, 虽然沿用的生产流程已经改变, 但原始原料——苯, 依然沿用。

1899年在制药方面有了另一个重大的发现, 当时在德国发现了阿斯匹林 (乙酰水杨酸), 这成为首次真正合成的药物^[8]。由于阿斯匹林是一种十分重要而用途又广的止痛药, 所以成为一大族同类药物的先驱, 其中有许多种是以苯为原料制成的, 其中常用的有非那西汀和磺胺。

经过一个世纪, 苯已牢固地立足于化学界, 苯经常从煤气或焦油获得, 但煤气照明工业和冶金工业所需焦炭的生产都有了发展, 因此, 能从中抽提苯的原料的消耗量也在不断增长。

1.3 早期的理论研究和苯的分子结构

苯生产的发展过程是与有机化学工业的发展休戚相关的, 追述此发展过程时有必要提及同时进行的探索苯分子性质的研究工作, 在一个世纪以前提出来的这一课题始终议论纷纷。

上面我们已经提到1825年法拉第奠定的基础。其中一部分内容是分离出这种化合物, 制取较纯的苯并测定苯的物理、化学特性。法拉第的研究工作促使他阐述他发现的这种化合物, 即“氢的重增碳化物”。必须认为, 苯分子中碳氢比是符合他的解释的。几年后, 即1833年米彻尔利希确定了苯的经验公式, 即碳和氢各为六个原子^[9]。随着这一事实的确立, 人们对苯分子中这些原子的立体结构有种种猜测。在脂族中, 有六个碳原子的饱和烃 (己烷) 就含十四