

第 1 章 绪 论

聚合物制备工程是以高分子材料科学与化学工程学为理论基础的工程学科。其生产加工对象包括对天然高分子材料的改性及人工合成高分子材料的工业化生产。本教材以人工合成高分子材料为重点，主要内容有：高分子材料合成工业的发展历程、现状及发展方向，高分子材料在国民经济和生活中的地位与作用，生产工艺原理，物料选择，流程结构，技术分析，工程设备，生产过程的完善及技术创新等。

1.1 聚合物制备工程的发展过程

人类社会早期就开始了对天然高分子材料的利用，加工使用的材料有植物纤维（棉、麻、草木纤维），天然橡胶，天然树脂，动物的皮革、毛、丝等。这个时期都是手工操作的作坊，尚未形成工业化生产。

到 19 世纪中期，开始通过化学应对天然高分子材料进行改性。1839 年美国发明天然橡胶的硫化；1855 年英国人由硝酸处理纤维素制得塑料（赛璐珞），以后又相继制成人造纤维和汽车涂料；1883 年法国人发明了用乙酸酐与纤维素作用制得人造丝（粘胶纤维）。与此同时，随着大规模制造化学产品生产过程的发展而逐渐使化学与机械工程结合形成了化学工程学科，使化学工业生产从小型作坊的间歇操作向大型工业装置的连续操作过渡成为可能，具有工业化规模的聚合物制备工程也随着发展起来。

19 世纪后期，工业的发展推动了人工合成高分子材料的进展，20 世纪是高分子材料合成工业不断发展壮大的时期。1910 年美国正式工业化生产酚醛树脂，随后相继合成出丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、尼龙-66 聚酯纤维、高压聚乙烯和聚氯乙烯，其产量和品种在二次世界大战中得到快速发展。50 年代以后，高分子材料科学及石油化工的高速发展有力地促进了以三大合成材料（合成树脂、合成纤维、合成橡胶）为代表的高分子材料合成工业的迅猛发展，使它在世界经济中发挥了重要作用。回顾漫长的发展历程可以清晰地看出社会经济的发展与科学技术的进步有力地推动了高分子材料合成工业不断前进。

进入 21 世纪，材料科学的高速发展与高新技术的广泛采用使高分子材料合成工业进入一个崭新的时期，同世界其他国家一样，我国也具有很好的发展前景，尤其是近几十年内有可能成为全球在这个领域发展最好的国家，在规模、品种和技术水平上都进入世界先进行列。

1.2 高分子材料在国民经济和社会发展中的作用

材料工业是基础工业，是其他经济部门和科学技术进步的基础，它的发展关系到一个国家综合国力的增长，直接影响到人民生活水平的提高。现代工业及民用的所有产品几乎都是根据现有材料进行设计和制造的，新材料又往往是新技术的先导，量大面广的传统材料是

资源、能源消耗的主要渠道，也是重要污染源，所以材料工业是可持续发展必须考虑的主要因素之一。

随着石油化学工业的蓬勃发展而兴起的庞大的高分子材料工业已被列为重要的基础工业之一，石油化工七大基础原料（三烯，即乙烯、丙烯、丁二烯；三苯，即苯、甲苯、二甲苯和甲醇）总量的一半用于合成树脂的生产；乙烯工程大量的初级产品和下游产品为烯烃类、芳香烃和它们的衍生物，其中大部分都用来生产高分子材料。因此，高分子材料合成是石油化工发展的最重要的领域，它也是材料工业中发展速度最快的领域。1974~1995年的20年间世界合成树脂的年产量已由4000多万t猛增至1.196亿t，增长近3倍。1995年按体积计，世界合成树脂产量1.139亿m³，已经连续第五年超过世界粗钢产量（9688万m³），塑料体积比为1.18:1。开发塑料与其他高分子材料，周期短、投资少、能耗低（以单位体积计，聚苯乙烯为1时，钢为10，铝则为20），因此，以塑代钢已是当前一个重要发展方向，如玻璃钢便是其一。全世界聚合物的年产量已经在1.8亿t以上，在世界经济中占有重要地位，是中国国民经济的支柱产业之一，也是中国经济效益最好的产业之一。

以石油、天然气为原料生产的三大合成材料（合成树脂、合成纤维、合成橡胶）为代表的高分子合成材料工业已经发展成为现代工业，在国民经济和社会发展中占有重要地位，为农业、机械、交通、建筑、电子、信息等行业的发展提供了必需的材料。不仅三大合成材料，其他高分子材料也有十分重要的作用。涂料保护着世界上数以亿吨计的钢铁免遭腐蚀，并使建筑、机电产品、家具等变得丰富多彩、质量可靠。粘合材料在保证材料原有性能的前提下，几乎可以把各种性能各异的基材结合在一起。功能高分子材料结合了材料的结构性和功能性，可以由人工合成具有各种独特功能（耐热性、导电、感光、生物性）的高分子材料，用于各种各样特殊的使用场所。化工新型材料随着国防工业的现代化和军工技术的发展而不断发展壮大，提供了迫切需要的耐辐射、耐高低温、质量轻和强度高的材料，对国防建设起了重要的支持和保障作用。三大合成材料连同其他各种高分子材料对国民经济其他产业，包括高新技术产业具有不可替代的引导、带动、支撑和辐射作用，同时它早已深深地渗入了人们的日常生活，成为不可缺少的必需品。高分子材料所具有的多种多样的性能优势，使它不仅能代替金属、木材、陶瓷及许多无机材料，而且可以代替天然高分子材料如棉、毛、丝、麻、木等，并且其良好的物理化学性能是其他许多金属或非金属无法比拟的。总之，高分子材料对国计民生、国防建设、科技进步和社会发展都有不可替代的基础作用。

1.3 我国高分子材料合成工业现状及发展

1.3.1 现状分析与差距

高分子合成材料包括合成树脂、合成纤维、合成橡胶、涂料、粘合材料五大类，还有功能高分子材料和新型高分子材料等。我国的高分子材料合成工业从无到有、从小到大，发展至今已形成一个完整的工业体系。目前，各类材料生产配套、产品品种基本齐全，已广泛用于国民经济和人民生活的各个领域。我国大宗化工材料已在世界占有重要地位，2000年已有多种高分子材料重要品种的生产能力进入了世界前几名，生产总量达1500多万t，近期内还有大幅度增长。但是由于我国人口众多，到21世纪中期将达到16亿的高峰，新增人口的生存与发展，人们对生活质量要求的不断提高以及国民经济的持续增长，都促使高分子材料

工业必须有更大的发展。目前我国进口的主要高分子材料总量几乎与国内生产总量相当。这就使我国高分子材料合成工业面临严峻的挑战，同时也为发展提供了极好的机遇。

我国的高分子材料正逐步与国际市场接轨，虽然多数产品的品种牌号和生产技术是从国外引进的，但是相比之下仍然暴露出品种牌号太少，尤其是高档产品和许多专用的、高附加值的功能高分子材料在国内尚缺少工业产品，就是五大通用合成树脂产品中的高档牌号在国内也有很大空缺。合成纤维的产品结构也存在差别化率低等问题。从目前状况看，工业生产主体装置的大部分工艺技术和关键设备是成套引进的，使我国的工业技术水平有了明显提高，但是还没有很好的消化吸收，继续创新能力不足。由于化学工程基础研究和相关工程技术薄弱，科研开发与工程设计结合不够紧密，反应工程研究基础弱，影响了技术开发和成套设计的能力，至今自主开发的成套技术仍然较少。生产出的产品质量档次低，批次间质量有波动，且成本高，缺乏竞争力。信息技术的应用差距大，国外生产装置都采用先进的DCS(集散控制系统)控制系统，大面积推广使用先进控制技术，并且向全厂集中控制发展，我国还没有全面普及DCS控制系统。国内集约化程度低直接导致劳动生产率低，1995年我国有涂料生产企业4544家，是美国的9倍，而人均涂料年产量仅有美国的九分之一。我国合成纤维企业平均年产量为8000t，与经济规模相差一个数量级。企业管理成本过高导致部分企业生产成本已明显高于国外同类产品的到岸价，严重影响了产品在国际国内市场的竞争力。此外，由于长期计划经济体制的束缚、科技经费严重不足、缺乏重大创新课题、科研人员力量分散等原因，使得我国自主开发能力薄弱，难以有重大作为。技术储备不足、技术创新力度小已经成为缩短同国外差距的重要障碍之一。保护生态环境已经越来越受到各个方面的重视，治理三废也取得进展，但是对我国来说，包括高分子材料合成工业在内的各行各业仍然要继续努力消除环境污染，发展清洁生产，坚持推行可持续发展战略。

为了更好地解决这些问题，国家机关制定了许多相关政策，并给予财政上和政策上的扶持；社会各界，特别是企业界积极推进各项改革，大力开展技术创新，已经取得明显效果，到21世纪中叶我国必将实现从化工材料大国到化工材料强国的跨越。

1.3.2 面向 21 世纪的发展趋势

1.3.2.1 扩大产能及装置大型化

20世纪下半叶全球高分子材料合成工业得到迅速发展，这期间经历了三次大的产业结构调整，这三次产业结构调整一次比一次规模更大，一次比一次更加深刻，国际市场的竞争也一次比一次更加激烈。日本、韩国、东南亚等周边国家和地区的石油化学工业在第三次产业结构调整中，尤其是亚洲金融危机前后进行了大规模的重组，重新走上了稳步发展的道路，他们实施的“出口导向战略”对我国市场造成很大的竞争压力；欧美大跨国石化公司实施的亚洲投资发展战略，在我国周边国家和地区新建扩建收购了一批石化项目，新增产量将明显投放亚洲市场，尤其是中国；中东产油国家在第三次产业结构调整中，积极发展石化工业，充分利用其资源优势，凭借其石化工业装置规模大、成本低、产量高等优势在世界石化市场上占据竞争优势，中国加入WTO后，中东国家具有价格竞争优势的大宗石化产品如聚烯烃更会大量进入中国市场；我国面对的是全球经济一体化的大形势，全世界都在争夺中国这个极富发展潜力的大市场。所有这些都对我国实施的“拉动扩大内需，走出国门”的发展战略带来不利影响。同时，还必须抓紧解决我国目前存在的企业数量多、规模小、布局分散、结构

趋同、缺乏专业化分工、企业集中度低，因而影响竞争力的问题。我国还存在一大批技术水平低、物耗能耗高、成本高、效益低下的小石化厂，这也是亟待解决的问题。

进入 21 世纪高分子材料仍将保持高于传统材料和天然材料的增长速度发展，预测年增长率有望超过 5%。我国的高分子材料合成工业虽然有许多不利的因素，但同样有许多有利于迅速发展的条件和机遇。国民经济的持续稳步发展和人民生活的不不断提高为我国的高分子材料发展提供了极为广阔的空间，即使将现有高分子材料产量增长一倍，仍然有发展余地，巨大的内需是持续发展不可多得的优越条件。

经过近年来的勘探开发，我国的资源和能源储备都有显著的增长，海洋与西部油气田的勘探储量和开采量都在迅速增长，“西气东输”为 4000km 沿线各省市地区的经济发展带来机遇。新能源 水能源、风能、地热、太阳能、生物能等 储量巨大 水能源为 3.78 亿 kW，目前仅开发利用了 11%，可供开发利用的风能资源总量为 2.54 亿 kW，每年我国陆地接收的太阳辐射能总量相当 24000 亿 t 标准煤，此外还有尚未开发利用的地热、潮汐能和丰富的生物资源，充沛的资源和能源为工业发展提供了有力支撑。同时，我国在参与全球经济一体化的进程中已经开始积极利用国内、国外两个资源、两个市场，极大地扩展了我国的发展空间。到 1999 年年底，我国已有 16 个乙烯生产企业，18 套生产装置，总生产能力达到 440 万 t 以上，预计到 2005 年国内乙烯产量将超过 800 万 t，届时国内乙烯的产需情况将得到根本改观，高分子材料合成工业也将随着得到良性发展。以乙烯原料为基础的五大通用树脂以及其他高分子材料的产量必然有飞跃式的增长。

近几十年来，石化工业不断向大型化、超大型化方向发展，乙烯装置的经济规模已从 11 万吨/年，持续增长为 30 万 t/年、60 万 t/年 在 21 世纪将达到 80 万~90 万吨/年，甚至 100 万 t/年以上，全球最大的单系列聚丙烯装置规模为 95 万 t/年。规模与成本成反比关系，在一定条件范围内，装置的规模越大，单位产能所花费的投资就越少，产品的成本就越低，也就越经济。因此，世界各国都把追求规模经济，实现装置大型化作为产业结构调整的主要目标之一。由于工程技术的进步，大型装置的使用寿命可长达 15~20 年，对原料的适应性和转换产品的灵活性大大增强，加上计算机控制水平的提高，从而有效地降低了物耗能耗和成本，明显增强了竞争力。为了更好地满足国内市场巨大需求，进一步增强国产高分子材料的市场竞争力，我国在近十年来已经大力进行生产装置技术改造和扩建，使生产能力得到提高，目前正在积极向大型化发展，国内多家企业正在将乙烯产能扩大到 60 万~70 万 t/年，高分子材料合成装置同时扩大了产能，在建的聚烯烃装置的规模大都在 20 万~40 万 t/年的水平，进入世界同类生产装置的先进行列。

1.3.2.2 产品结构调整

我国目前的产品尚存在结构不合理、品种牌号单一、档次低、附加值低等问题。与国外相比，同样是聚乙烯和聚丙烯我国仅有 200 多个牌号，而国外则超过数千种；低密度聚乙烯国内有 143 个牌号的生产技术，经常生产的只有 30 个，而且主要是通用膜、农膜、重包装膜及注塑牌号，其中占产量 60% 的薄膜牌号基本上是大路货，这种通用的大路货使用范围比较广，价格比较低，因此效益也就差。而高档次、高附加值的专用料是专为生产各种不同用途制品提供的原料，技术含量高，自然价格也就高，获取的利润则明显高于大路货。目前我国进口量达数百万吨的高分子材料大半是质优价高的专用料。国内企业已经认识到开发生产专用料的重要意义，经过连续多年的技术开发工作，1999 年合成树脂的专用料比例已经

达到 33.3% ,比 1998 年提高了 10.4 个百分点,聚丙烯共聚专用料等新产品已被国内外大用户认可并大量进入市场。合成纤维、合成橡胶等其他高分子材料领域也在强化科研,大力开发专用料新产品,并取得显著成绩。国内最大的仪征化纤公司在 2000 年的上半年的切片专用料比例达到 41.5% ,纤维差别化率达到 25.6% ,专用切片和差别化纤维产量分别比 1999 年同期增长 26.2% 和 118.6% ,差别化产品的销售收入占公司总销售收入的三分之一,由此可见研究开发差别化产品并迅速投入生产是十分重要的,而且发展余地很大。在产品结构中我国还需要努力解决产品成本高、质量波动的问题。由于我国的企业规模小、技术水平和劳动生产率低、管理成本高等原因,导致缺乏市场竞争力。近年来我国大力进行企业重组扩大规模,组建了一批大型和超大型的集团公司,其中几个已进入世界 500 强,与国外大公司相比虽然还有很大差距,但已大大增强了在国际国内市场上的竞争力。采用高新技术改造传统企业,减员增效的实施都对降低成本起到积极作用。当前的市场竞争不仅靠价格竞争,而且正更多地转向依靠质量竞争。为此,我国企业必须强化质量管理、提高生产技术水平、更积极地采用新工艺、新设备和先进的控制系统,使质量稳定提高。

1.3.2.3 高分子材料科学与化学工程学的理论基础作用

新兴的高分子材料科学的进展十分迅速,在基础科学和技术科学研究方面已经进入了宏观与微观、定性与定量、静态与动态密切结合的阶段。通过对材料结构、性能和形成过程认识的不断深化,在一定程度上已能为最大限度地使用现有材料和发展新材料提供科学依据,为逐步实现按预定性能设计和制备材料创造了条件。高分子化学的研究正在向深度、广度飞速发展,现在已经普遍采用数学、计算机方法解决大量理论和实际应用问题,为高分子材料的发展奠定了坚实的基础。新的高性能高分子化合物的分子设计及合成,新的聚合反应和方法的不断出现,可控制反应物的空间立构及其相对分子质量、相对分子质量分布,活性聚合,生物酶催化聚合,新功能高分子化合物的分子设计及合成,耐高温、高模量、高强度、高性能聚合物的分子设计及合成,各种有机-无机分子内杂化材料的合成,聚合物的化学改性,加工成型过程中的化学等方面的研究成果令人目不暇接。

高分子物理是支撑高分子材料科学发展的另一重要学科。有关链构型、构象、支化度、序列结构、交联结构、浓溶液、液晶态、晶态、非晶态、多相体系、熔体等的新观点、新现象、新的研究方法发展很快。和高分子的“静态”结构相比,高分子的“动态”结构研究,如分子链运动及动力学行为、聚集态的亚稳态结构现象及变化规律、聚合物流体的非线性粘弹行为等,也都得到重视。这些研究的成果产生了许多新概念、新方法和新理论,为高性能材料的分子设计创造了条件。

聚合物成型加工过程中的工程问题正受到越来越多的重视。像振动剪切塑化成型、气辅成型、反应加工成型、新的成纤技术、特种纤维纺织技术等方面的研究很可能为高分子材料的应用开拓新的领域。

化学工程学是对物质与能量进行加工与转化的过程科学,它是化学加工技术的基础,其理论研究与技术方法对于利用现代科学技术改造传统的化学工业发挥着重要作用。化学工程作为学科,化学工艺作为技术,化学工业作为产业,互相促进,共同繁荣与提高。在全球经济一体化的大趋势下,特别是加入 WTO 以后,只有依靠先进的化学工程理论和化学加工技术,提高传统产业的产品质量和附加值,降低消耗,走内涵式和集约化发展的道路,才能保证我国的高分子材料合成工业在国际上占据应有的地位。今天,随着科学

技术的迅猛发展，化学工程的研究重点转向新材料、新能源及新的清洁高效工艺过程。化学工程的新进展为开发新材料领域、实现各种工艺变革提供了技术基础，特别是反应工程、反应器和分离工程的进展对新材料的发展起到了重要的支撑作用。例如，在气-固、液-固两相流化床和气-液-固三相流态化理论、机理和模型方面的研究对开发新材料产生了深刻的影响，为许多重大新工艺的突破奠定了基础，许多大型高效的聚烯烃生产装置的开发、设计、投产都与之密切相关。聚合过程往往放出大量反应热，反应系统多数为非牛顿型流体，反应过程中流变特性及气相体积流速变化很大，影响反应过程的因素多，建立数学模型难度大等，近 20 年，已经在解决这些重大课题方面取得新进展。在聚合反应器内部的研究方面已有许多突破，利用计算机对反应器内伴随化学反应的传质、传热等理论研究已有许多新进展，为成功解决大到几百立方米的聚合釜设计、加工、运行等一系列问题奠定了基础。分离技术的不断改进，解决了一些特殊材料的热敏、提纯、输送等大量难题，得到了符合各种苛刻场合要求的高级材料。

最新高科技的进展必将有力地推动材料科学与材料工业的更大发展，例如，纳米材料的发展可能引起催化材料和许多高分子材料的突破。1nm 是 10^{-9} m，纳米级材料具有特殊的表面效应、量子尺寸效应和隧道效应，化学性质十分活泼，用它制成纳米分子筛具有极大的催化效率，用它对高分子材料进行化学或物理改性也取得非常好的效果，使其力学性能、化学性能等都得到显著改善。可以预见纳米材料的工业化应用必将对高分子材料的新突破产生深远影响。

聚合物制备工程的理论基础是高分子材料科学与化学工程学（聚合反应工程、高分子传递过程、粘性物流体力学等），材料科学与化学工程学的迅速发展及相互融合，有力地推动了聚合物制备工程的进展，使其整体水平不断提高。

1.3.2.4 催化剂的重大作用

催化剂的研究改进方向主要是提高催化效率以增加生产能力和生产效率并降低成本；控制聚合物相对分子质量及相对分子质量分布、控制分子的结构以完善聚合物性能，扩展其用途，增强市场竞争力。

追求更高的催化效率仍然是合成材料技术进步的重要目标，例如，合成树脂的聚合物收率已由每克催化剂组分能得到几千克聚合物提高到几百万克聚合物，随着催化剂的进步，聚合工艺也发生了显著的变化。聚丙烯生产的洗涤单元被淘汰了，后处理单元也被精简，有效降低了投资和成本。高效催化剂开发成功使气相合成乙丙橡胶成为可能，也是气相法合成聚烯烃工艺的关键。这些新成果为 21 世纪合成材料的新发展创造了条件。

通过改进催化剂来提高聚合物性能是另一个研究方向。催化剂的性能改进可以是聚合物在很宽范围内控制平均相对分子质量，也可以在相当宽的范围内调节相对分子质量分布；可以调节共聚单体的加入方式，控制聚合物的支化度，改变聚合物的密度，改变聚丙烯的立体等规度等，这就为大量增加新牌号奠定了基础。

1980 年，茂金属催化剂/甲基铝氧烷高效催化剂体系问世，成为聚烯烃技术进步的重要事件。茂金属催化剂的重要特性，一是单活性中心，有极高的选择性；二是反应活性比普通 Ziegler-Natta 催化剂高得多，达到每克铬组分可得到聚合物 4×10^8 g。通过茂金属负载化，制备出的单点负载性催化剂，在生产特种聚合物方面已开辟了一个崭新的领域。

在茂金属催化剂取得成就的同时，非茂金属催化剂的开发也有巨大的进展。Nova 公司

用不同方法开发了 6 个系列的单中心催化剂，成本与 Ziegler - Natta 催化剂相当，却兼有 Ziegler - Natta 催化剂和茂金属催化剂的优点。他们结合高强度混合以及反应器技术，正在建设 38.5 万吨 / 年的聚乙烯生产装置。另外，英国石油公司 (BP)、杜邦 (Du Pont) 公司等还在研究铁系催化剂，已经得到了相对分子质量 260 ~ 611000 的线形聚乙烯，铁系催化剂的这一重要研究成果启发人们考虑那些以前认为是不可能的目标。

1.3.2.5 合成、加工 - 应用的一体化

合成是高分子材料创新的主要源泉，是新技术和现有技术改进中的关键因素。新材料的开发、现有材料的改进不仅要靠合成，现在测试、加工应用也已成为开发新牌号的重要途径，引起高度重视。高分子材料和其他材料一样，不是最终消费品，必须借助测试、加工和应用研究才可以进入终端消费市场。目前，国内外普遍施行了以生产企业为主体，材料科学与材料工程、生产与研究、教学与科研的密切结合，形成一个产、学、研统一体，用来指导材料的生产，提供技术服务，开发新牌号并开拓新的市场。这些年来，国内外许多大企业投入巨额资金，在汽车、建筑、包装、机械制造、信息、计算机等各个合成材料应用领域开展加工应用研究，建立各种“加工应用研究中心”，其投资力度、研究深度和广度甚至超过了下游工业本身。

实际上，测试、加工应用研究已变成了开发新产品最直接、最重要的途径之一。随着装置大型化，依靠合成开发新牌号产品的成本越来越高，而依据测试、加工应用研究成果可以很方便地利用二次加工手段开发新产品，特别是那些批量有限、用途专一的“专用料”。目前世界上有 2040 个合成树脂掺混厂，有的厂利用自己开发的软件可为 300 位用户生产 1700 个牌号，且不需要库存。我国也有一些合成树脂掺混厂在生产“专用料”，但是数量远远不能满足需求。高分子材料生产企业对自己生产的大品种尽量依据测试、加工应用研究成果，通过更完善的售前、售后服务，包括介绍加工性能、加工参数，指导改进加工工艺来满足加工厂的要求；下游加工尽可能通过增加新功能，改进外形设计来满足市场的需要；掺混厂作为重要的中间环节，利用现成的大宗高分子材料，采用“共混”等方法开发大量新牌号，改进加工性能，提供“专用料”，及时满足下游用户的不同需求，开拓并占领市场。

1.3.2.6 计算机、信息技术迅速推广应用

计算机和信息技术在高分子材料领域应用范围很广，贯穿渗透到科研开发、工程设计、生产过程控制、企业管理、市场营销等各个方面，发挥了重大作用。信息技术与化学工业的结合和渗透，正成为产业升级的主要内容和推动力之一，生产过程和经营过程的集成化与科学化，是当前高分子材料工业计算机化和信息化的主要特征。

应用计算机计算技术使采用更复杂、更精确的数学模型成为可能，近年来已经能进行理论化学、分子科学、分子模型、分子动力学等计算，能辅助进行分子设计，推动新的高分子材料研究开发，通过高可靠的计算分子科学去模拟原子体系的能力，能很快设计出可以保护人类健康、安全和与环境友好的新材料和化工新过程。同时，计算流体力学、过程模型、模拟、操作优化和控制等各种计算化学工程方法在新产品技术开发中得到越来越广泛的应用，可以保证新产品从研制到生产乃至回收利用全过程进行快速的开发、放大、设计、控制和优化。

化工过程的模拟与工艺放大是计算机在化工应用中最为基础、发展最为成熟的技术，其中最常用的是流程模拟和单元过程模拟。通过化工过程模拟可以用计算机求解并描述生产过程的数学模型，得到有关该过程性能的信息，进行工艺过程的分析、综合与优化。目前计

算机模拟已成为化工过程工艺开发、工艺设计、生产操作控制与优化、操作培训和老装置技术改造的重要手段。随着计算机软硬件的发展，求解复杂数学问题的能力已大大增强，因此可以采用更严格、更精确的数学模型来进行模拟，使可靠性大大提高，将有可能从小实验跳过中间试验而实现工艺模拟放大的目标，不再依靠传统的耗时、耗物的试验放大方法。

利用计算机和信息技术建立柔性生产系统，就是通过多级计算机系统，把生产工艺中若干独立生产单元组的物料流（原料、中间体、成品、废物）和信息流（反映生产状态的工艺参数、设备状态、处理指令和信息）能源流（能源、动力）结合起来，集中进行调度，分散进行控制，达到多品种、多用途生产的目的。建立企业内部网络交换内部信息，并充分利用因特网（Internet）查询公共信息，形成计算机集成信息系统（CIIS），对于提高产品质量、生产率、设备利用率，缩短生产周期，减少工程费和人工费，提高工作效率都有极其显著的作用，从而增加企业的经济效益。我国在计算机的推广普及和信息技术充分利用方面越来越重视，研究开发、生产应用的力度也越来越大。在石油化工行业中已有 200 多套集散控制系统（DCS）在运行，取得了很好的经济效益。在分子设计、过程模拟与开发放大、过程仿真、设计与生产的优化、控制系统的升级、网络的建立与迅速扩展等，都取得令人瞩目的成绩。我国一企业自主开发的物资管理系统把全公司几十个仓库组成为逻辑仓库，统一审批，统一采购，优化管理，一年内即压缩库存 1 亿元，取得了可观的经济效益。刚刚由我国自主开发的 TCS 柔性控制系统经过评审和实际使用，确认此控制系统性能可靠，达到了国际先进水平。

1.3.2.7 发展清洁生产、注重可持续发展

世界环境污染的加剧以及温室效应和臭氧层破坏等全球问题的日益突出，促使人类意识到只有可持续发展才是解决人类自身危机的根本途径。清洁生产是可持续发展的重要技术手段，并在 1992 年 6 月联合国环境与发展大会上被正式承认为可持续发展的先决条件，视为工业界达到环境改善同时保持竞争性及可赢利的核心手段之一，并列入《21 世纪议程》。我国也积极参与了清洁生产的行动计划。1997 年 4 月国家环保局正式行文“关于推行清洁生产的若干意见”。近年来，清洁生产已逐渐深入人心，但与发达国家相比仍有很大差距。我国环境污染的主要来源是工业生产，而化工生产是排污的大户，开发和完善清洁生产技术的任务很重。清洁生产是个发展的概念，普遍认为：清洁生产是一种连续性的一体化预防策略，它通过改变产品、过程和服务以提高效率，从而达到改善环境性能和降低成本的目的。可以看出，清洁生产的目的是以可持续发展的方式在满足人类对产品需求的同时又在保持生态多样性的前提下提高资源和能源的利用率。

可持续发展是把生态、经济、社会统一为不可分割的整体，能动地调控自然 - 经济 - 社会复合系统，是人类在不超过资源与环境承载能力的条件下，促使经济发展，同时保持资源持续和提高生活质量。可持续发展是一个庞大的系统工程，由三个子系统组成：一，经济发展是任务，必须保证经济不断增长；二，自然持续发展是基础；三，社会持续发展是目标。最终目的是提高人类生活的质量。

清洁生产的技术关键是从生产的源头控制污染物的产生并全程控制污染，其控制可分为四个等级：一是减少污染来源，研究开发“原子经济”反应，力求原料分子中的原子百分之百地转变成产物，不产生副产物或废物，实现废物的“零排放”，避免在生产过程中生成污染物，这是减少三废的根本；二是再循环，将不可避免产生的废料作为原料替代物或其它工业过程的添加剂，加以循环利用；三是后处理，如果生成的废物无法循环再利用，则销毁、

中和或无毒化处理（包括分离、能量回收、体积减小等），使其对环境的影响降到最小；四是排放，将处理过的三废排向环境（水域、大气），或注入地下或地上排放场。

目前清洁生产可采用的方法有：提高反应的选择性，采用新型高效催化剂是首选；采用无毒无害的原料、催化剂、溶剂；采用生物技术利用可再生资源合成化合物；研制生产“环境友好产品”，例如用植物秸秆和淀粉制造可降解塑料等。此外，运用过程系统工程已研究出多种有实用价值的方法，使生产工艺过程尽量达到清洁生产的要求。

1.3.2.8 增强技术创新能力、培养高素质人才

技术创新是与新技术、新产品的研究开发、生产及商业化有关的技术经济活动，其主体是企业。技术创新是以技术及相关活动为手段，以获取利润为目的的技术—经济相结合的综合概念。技术创新包括基础研究、应用研究、试验开发、生产应用及销售五个阶段。前三个阶段属于技术活动范畴，后两个阶段属于经济活动范畴。技术创新有三个鲜明的特点：一是强调市场实现程度和获得商业利益是检验成功与否的最终标准；二是强调从新技术的研究开发到首次商业化应用是一个整体过程，是一个系统工程；三是强调企业是技术创新的主体。

技术创新是技术进步的核心，持续推动技术创新就会实现技术进步。技术创新把发明或其他科技成果引进生产体系，用来制造出市场需要的商品，这种科技成果产业化和商业化的过程才是技术创新。进行技术创新，开发新产品、新牌号时，通行的作法是：首先着眼市场容量，预先开拓新产品的市场，因为产品的市场容量是取得效益的前提。二是必须适应用户的各种标准，高分子材料不是终端产品，开发的新产品必须符合下游加工的各种要求，包括工艺参数、产品标准等，并尽可能利用用户一切可以利用的现存加工设备和技术，才能使新产品顺利进入市场。线形低密度聚乙烯、溶聚丁苯橡胶等合成材料开拓并打入市场的大量成功经验以及至今难以形成气候的新产品的教训都证明了这一点。三是要把下游产品的变动也作为材料新产品开发工作的组成部分，根据下游用户产品变动后新的需求来确定和调整自身的新产品开发目标。四是追求最大市场效益。五是新产品开发已成为企业的永恒主题，任何产品都有一定的生命周期，为保持产品的旺销，必须不断开发、不断改进、不断推出新牌号。

发展我国的高分子材料工业，关键在人才。我国与材料有关的高等院校很多，专业也很齐全，每年培养出大量毕业生充实到生产、科研和管理等部门。但是由于过去学校专业太细，学生知识面窄，独立实践能力欠缺，因此质量还远远不能满足当前材料科学与技术高速发展的要求。已经参加工作的在职人员所掌握的知识也不能适应现代工业的需要和交叉学科的发展。因此，一方面高等院校要进行专业改革，大力拓宽专业，推进教学和生产、科研相结合，在企业建立教学实践与科技开发基地；另一方面，企业要加强继续教育，在生产 and 科研部门工作的技术人员都要树立终生教育的观念，不断吸取补充新鲜的知识。要大力促进各专业之间的密切合作；要提倡大学、研究所与企业之间，工程技术人员与科学家之间的相互交流，这样作不但可以促进科技问题的解决，对工程技术人员素质的提高与知识的更新都会产生很好的效果。通过大力推进教育、教学改革，大力推进产、学、研密切结合，大力推进人才与学术的交流，必将为新世纪知识经济的兴起和发展创造条件，担当起实现 21 世纪我国材料科学和材料工业发展的历史任务。

1.4 各种合成材料的现状及发展

1.4.1 合成树脂

合成树脂中产量最大的五大通用合成树脂有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)和ABS树脂(丁二烯-苯乙烯-丙烯腈共聚物)。非通用合成树脂有酚醛树脂、环氧树脂、聚氨酯、不饱和聚酯树脂、氨基树脂、PET、PMMA及各种工程塑料。合成树脂一般是指单体经聚合或缩合反应而生成的树脂,常用的聚合方法主要有本体法聚合及溶液法聚合,悬浮法聚合则主要用于生产聚氯乙烯和发泡聚苯乙烯,乳液聚合仅在个别品种生产上应用。合成树脂广泛用于制造塑料、合成纤维、涂料、粘合剂、绝缘材料等。它是一种十分重要的材料,其产量和品种一直保持良好的发展状态,其消费量也在不断增长,我国对合成树脂的需求量日益扩大,每年都要大量进口。合成树脂以其质轻、耐腐蚀、易加工、外观好、机械强度高,能适应各种不同温度等一系列优异性能而广泛用在建筑、建材、交通运输、机械、电气电子、信息、包装、家用电器和日用品等许多领域。一些性能独特的复合材料已广泛用于航空、航天、海洋、电子以及国防工业和新兴高科技产业。由合成树脂生产的专用塑料可以用来制作汽车零部件,每辆汽车用塑料占车重的10%~20%。农用薄膜也是由合成树脂生产的,我国农用地膜覆盖面积已达1亿亩以上,棚膜达到1000万亩,为农业稳产、高产、提高农作物品质做出巨大的贡献。

1998年我国合成树脂的总产量为703万t,居世界第五位,预计2005年我国的合成树脂产量为1465万t增长1倍多,但国内需求量的一半仍需要进口,尚有很大发展空间。由于我国合成树脂产量和消费量的增长速度都高于国民经济增长速度,并且有较好的相关性,说明合成树脂工业的发展对国民经济增长具有积极促进的重要作用。

聚烯烃(PE、PP)十几年来一直保持高速增长,生产企业通过消化吸收引进技术、不断进行技术改造,使许多装置的生产能力都超过了设计指标。苯乙烯系树脂(PS、HIPS)产能低,缺口一直很大,1997年的进口量已达到139.8万t,近年来随着一些新的大型装置陆续投产,情况开始好转。ABS树脂的消费量连年增长,而国产ABS树脂的自给率仅有5%左右。我国聚氯乙烯(PVC)生产企业近80家,大部分是电石法的小型装置,工艺落后、能耗物耗高、成本高,许多老企业面临淘汰;近几年来,一些老企业转变原料路线,购买进口的单体氯乙烯或二氯乙烯(自行裂解制单体氯乙烯)作原料替代原来用的电石,也获得一定的发展;同时新建和扩建的一批乙烯法生产聚氯乙烯的企业将以较大幅度增加产量,提高国产树脂自给率,减少进口。

非通用合成树脂各有不同的用途,也都占据一定的地位。我国聚氨酯工业发展迅速,1996年的消费量已达45万t,2000年将增加到70万t。近期,新建的异氰酸酯(TDI、MDI)项目实现后,原料长期不足的情况可以缓解,聚氨酯工业将有更大的发展。不饱和聚酯树脂现有百余家生产厂,总生产能力25万t/年,但实际产量仅有十几万吨,尚有数万吨从国外进口;其他热固性树脂如酚醛树脂、环氧树脂、氨基树脂等与之情况类似,这些树脂的国内产品在产量、质量及品种等方面均与国外有较大差距。需要进行产品结构调整,加速技术进步。

近年来,我国聚烯烃工业技术在国产化道路上取得很大成绩,70~80年代建成的老装

置经过多次技术改造，产量都突破了设计指标。连续法 PP 装置均实现了“安全、稳定、长周期、满负荷、优化”运转，技术改造取得了明显的成效。我国自行设计、建设的聚烯烃装置，如 14 万 t/年（溶剂法）HDPE 装置、4 万 t/年（连续本体法）和 7 万 t/年（环管法）的 PP 装置已相继投产，运转正常；HDPE 和 PP 生产用的催化剂也实现了国产化；新建装置中的许多重要设备已立足国内制造，聚氯乙烯成功运用了防粘釜技术，大大延长了清釜周期；先进的球形树脂、低聚合度及高聚合度的树脂、设备及助剂的国产化也已研制成功，糊树脂产品质量达到国外先进水平。今后，我们还需要引进或自主开发第二代聚烯烃技术——茂金属催化剂、“双峰”分布、宽相对分子质量分布的 LLDPE、“超己烯”、球形粒子聚烯烃技术；并且将第三代聚烯烃技术——超冷凝态进料流化床技术、超临界浆液法烯烃聚合技术及新一代具有高温性能的聚丙烯催化剂技术也投入生产运行。同时，结合我国国情大力开发专用料，寻求适合国情的回收及处理废塑料的技术。

1.4.2 合成纤维

合成纤维是以合成高分子化合物为原料制得的化学纤维的总称。与天然高分子材料改性制得的人造纤维相比，强度较好，吸湿率较小，染色较难。根据化学组成可分为聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚丙烯酸（酯）纤维、聚烯烃纤维、含氯纤维等。合成纤维是重要的三大合成材料之一，它主要解决人们穿衣的问题。自 30 年代后期工业化以来，已发展成为具有成熟技术和广泛应用的工业部门，是石油化工的重要组成部分。我国合成纤维工业已有 40 余年的发展历史，目前我国合成纤维在纺织原料中占的比例为 40%~50%，它的坚牢度相当于天然纤维的 3 倍。1t 聚酯纤维可纺织 5866m 布 可做衣服 1100 套，如以每亩棉田平均年产量 50kg 计算，相当于 22 亩棉田所产的棉花产量，以每亩粮田平均年产粮食 275kg 计，这些棉田可产粮 6t，这对解决我国众多人口的穿衣吃饭问题有重要作用。并且合成纤维具有高强度、耐磨、耐酸碱腐蚀、质轻保暖、电绝缘性好以及不怕霉蛀等性能，在国民经济的许多领域得到广泛应用，并取得很好的经济效益。例如在汽车中，每辆车平均用 10kg 合成纤维纺织品，汽车轮胎中平均每个轮胎用 2kg 合成纤维帘子布。合成纤维用于渔网，渔网的寿命可延长 1 倍。合成纤维土工布在路基路面修筑、稳定陡坡、河堤海堤防护、堤坝支撑、铁路路基防护等方面发挥很大作用，在篷盖布、环保材料、防护材料、建筑用材、人造革等方面也有很大发展。由于合成纤维的优异性能使它在航空航天及医疗保健等方面也得到日益广泛的应用。

我国自 1959 年建成首套聚酰胺装置以来，70 年代国家投入了大量资金建成了上海、辽阳、天津、重庆四个合成纤维工业基地，为我国的合成纤维发展奠定了基础。自 80 年代至今，国家又完成了仪征化纤的一期、二期和三期工程及上海二期工程的大型骨干项目建设。同时在大庆、抚顺、齐鲁、安庆、茂名、乌鲁木齐石油化工企业建成一批合成纤维生产装置。现在全国 30 个省、市、自治区都有合成纤维生产装置。1997 年我国合成纤维的生产能力已达到 453.8 万 t/年，在世界上居于首位。

经过多年努力，我国在工艺技术、设备国产化、新产品开发等方面都取得了显著成绩。国产聚酯短纤维工艺设备已达到国际 80 年代后期水平，国产化率达到 84.3%，有些大型骨干企业的纤维差别化率即将达到 40%，逐渐接近国际水平。我国与发达国家的主要差距是：装置规模不尽合理，技术装备水平不一，国产化率低，产品档次低，纤维差别化率低，产品

质量不稳定，产品成本高等，这也是我国合成材料工业普遍存在的不足，还需要奋起直追。

1.4.3 合成橡胶

合成橡胶是人工合成的高弹性聚合物，其性能因单体不同而异。目前，合成橡胶已经有 30 余个类别，产品牌号数千种，根据化学结构可分为烯烃类、二烯烃类和元素有机类等。重要的品种有丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、顺式聚丁二烯橡胶、顺式聚异戊二烯橡胶、丁基橡胶、乙丙橡胶、聚丙烯酸酯橡胶、聚氨酯甲酸酯橡胶、聚硫橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、硅橡胶、氟橡胶等。按使用特性可分为通用型橡胶和特种橡胶两大类。合成方法多采用乳液聚合与溶液聚合，有些则采用本体聚合。

20 世纪 30~40 年代研究生产出合成橡胶，那时主要作为天然橡胶的代用品，是战争时期重要的战略物资。随着石油化工的蓬勃发展和高分子科学技术的进步，合成橡胶产量迅速超过天然橡胶，1988 年首次突破 1000 万 t。我国于 50 年代末相继建成氯丁橡胶、丁苯橡胶和丁腈橡胶生产装置，随后通过全国的技术攻关，于 70 年代建成一批镍系顺丁橡胶装置，陆续投产。80 年代后期到 90 年代末，我国合成橡胶工业有了较大发展，其成果有：锂系弹性体工业技术开发取得突破；具有我国特色的顺丁橡胶装置和 SBS 热塑性弹性体装置大规模扩能改造；包括丁基橡胶、丁腈橡胶和乙丙橡胶装置的大规模引进，新增加生产能力 21.5 万 t。经过 40 年的发展，我国的合成橡胶工业已初具规模，除了能生产通用的乳聚丁苯橡胶、顺丁橡胶、氯丁橡胶、丁腈橡胶外，还能生产技术水平较高、只有少数国家能生产的乙丙橡胶、丁基橡胶、溶聚丁苯橡胶和热塑性弹性体等。值得说明的是，在现有的合成橡胶装置中，氯丁橡胶、镍系顺丁橡胶、SBS 热塑性弹性体和特种合成橡胶溶聚丁苯橡胶生产技术是我国自主开发的，并成功放大到工业化生产，达到世界先进水平。这表明我国已具备一定的技术开发能力，为加入 WTO 后抵抗外来冲击奠定了基础。1997 年我国合成橡胶产量达到 60 万 t，列世界第四位。而 1997 年我国橡胶消耗总量 160 万 t，其中合成橡胶 75 万 t，合成橡胶消耗量位居美国、日本之后，居世界第三位。

今后，我国的合成橡胶生产企业还需要进一步克服产品结构不合理、乳液聚合装置小、单线生产能力低、过程控制水平不高、技术储备不足、前沿技术领域的基础研究比较薄弱等缺陷，积极准备参加国际、国内的市场竞争。

1.4.4 涂料和粘合剂

涂料俗称油漆，是应用于物体表面而能结成坚韧保护膜的物料的总称，是精细化工的重要产品之一，其成膜物质是高分子材料如树脂、橡胶等。它的功用是防止物体腐蚀、增强耐冲击和耐摩擦性能，并且使物体更美观。它是国民经济各部门必不可少的配套材料，在国防工业中也有不可替代的作用。在汽车、建筑、家电、家具、机械、交通、输油管道、防腐设施、电子、石油化工领域是必不可少的。功能性涂料更是广泛应用于航天、海洋、信息、军工等新兴高科技产业。涂料工业已成为现代工业的重要部门，为行业的发展和人民生活提供各种各样的产品，成为衡量国民经济发展和人民生活水平的标志之一。我国的涂料工业发展迅速，涂料产量以 12% 的平均速率递增。1997 年，年产量达 134.9 万 t，仅次于美国、日本和德国，居世界第四位。中国巨大的潜在涂料市场，为世界各国企业关注，市场竞争日益激烈。中国涂料技术已具备相当实力，当前正抓紧体制改革、技术

改造和技术创新，增强市场竞争力。

合成胶粘剂是一类重要的化工产品，在合成材料中居第五位。胶粘剂是能够把两个固体表面联接起来的物质或材料。它可以补充或代替传统的铆、焊、螺等方法，节省能源，而且快速、美观，已经广泛应用在木材加工、建筑、轻纺、航空航天、汽车和船舶制造、机械、电子电气、医疗卫生和日常生活等领域，在国民经济各个领域都起着重要作用。

我国胶粘剂企业有 1000 家以上，1996 年产量 133 万 t(有的统计数为 333 万 t)。整体状况是厂家多、规模小、技术水平较低。建筑业是胶粘剂最大的市场，其次是纸制品包装，今后将在汽车、建筑、包装、电子、木工等部门有较大发展。

1.4.5 功能高分子材料

功能高分子材料是对物质、能量和信息具有传输、转换或贮存作用的高分子化合物及其复合材料，也称为精细高分子或特种高分子。按照功能特性将其分为：光、电、磁、热、力、声、化学和生物八大类。现在功能高分子材料已形成一个新学科，且迅速发展成一个高科技产业，具有科技含量高、开发难度大、专用性强等特点，随着材料工业逐渐向精细、专用材料的战略转移，功能高分子材料的地位越来越重要。目前，世界各国都在抢占这一领域的制高点，总体来看，我国功能高分子材料的科研与发展水平比国际水平落后 10 年，而产品开发则落后 20 年左右。我国政府有关部门在十多年前，即已重视并支持科学工作者开展这一领域的研究开发工作，今后将在重点领域：高分子催化剂、高吸水树脂、气体分离膜、功能聚酰胺、沥青碳纤维、导电高分子、可降解高分子、太阳能利用高分子材料以及功能机理方面进行重点研究，逐步建立起功能高分子材料科研和生产基地，进而发展成一新兴的产业部门。

主要参考文献

- [1] 师昌绪，对发展我国先进材料的几点意见，化工进展，1992(1)
- [2] 徐僖，高分子材料科学和工业的进展，化工进展，1992(5)
- [3] 工程材料咨询报告，北京：中国石油化工出版社，1999(8)
- [4] 沃尔特·弗尔加拉著，屠海令等译，材料革命——对发展中亚洲国家意味着什么？武汉：中南工业大学出版社，1998
- [5] 何天白，王佛松，展望 21 世纪的高分子化学，化学通报，1999(10)
- [6] 左铁镛，材料产业可持续发展与资源效率和环境保护，材料研究与应用新进展(上卷)，1998 中国材料研讨会，北京：化学工业出版社
- [7] 郭景坤，对 21 世纪材料研究的一些看法，材料研究与应用新进展(上卷)，1998 中国材料研讨会，北京：化学工业出版社
- [8] 施良和等，高分子科学的今天和明天，北京：化学工业出版社，1994
- [9] 何天白等，海外高分子科学的新进展，北京：化学工业出版社，1997
- [10] 金涌等，化学工程迈入 21 世纪，化工进展，2000(1)
- [11] 李维芬，纳米材料的性质，现代化工，1999(6)
- [12] 刘道德等，计算机在化工中的应用，武汉：中南工业大学出版社，1997
- [13] 夏天阳，产业结构调整对高等教育的新要求，化工高等教育，1999(1)
- [14] 王晖，利用现代科学技术提高化工教育水平，高教研究，1999(2)

[15] 闵恩泽等 . 绿色化工技术进展 . 化工进展 ,1999(3)

[16] 石磊等 . 清洁生产的技术演变及其整体框架 . 化工进展 ,1999(3)

第 2 章 国土资源与聚合物生产的原料

物质可分为两大类即有机化合物与无机化合物。聚合物生产的主要原料为有机化合物。它主要来源于各种矿产资源，如石油、天然气、煤炭和各种动植物。因此，矿产资源——国土资源不是一个独立的概念，它是维系化工生产的重要保证；同时，它也是维系所有工农业生产、满足人民生活的重要保证。

对我国而言，随着矿产开发年代的推移、深度的增加、品位的下降，2000年以后，我国部分矿产将呈现下降趋势。因此，我们要对中国“地大物博”的概念重新加以认识。矿产资源决定了一个国家的经济实力和发展潜力。据统计，95%以上的一次性能源、80%以上的工业原料、70%以上的农业生产资料、30%以上的农业灌溉用水和30%的人口饮用水都取自矿产资源。而目前，我国的开发总规模已经跃居世界第二位。众所周知，矿产资源是亿万年前生成的产物，大部分开采后不能再生。因此，我们必须十分珍惜、节约与合理利用。

我国石油探明储量约数百亿吨，占世界第八位。天然气探明储量居世界第16位。我国目前已探明的煤炭储量为7650亿t，占世界第三位。同时与煤矿伴生的矿井气储量很丰富，可以随着煤矿的开采而抽出利用。据专家估计，我国煤炭可开采300年左右。石油的开采和使用年限比煤炭要少许多。那么，在石油和煤炭枯竭之后怎么办呢？因此，开发利用新型的工业生产原料势在必行。

化学生产最重要的特点是：把原料转化成有价值的化学物质。自然资源就是实现这种转化的初始物质。在地球表层2km范围内，包含有大约不少于20000万亿t铁、40万亿t铜、48万亿t锌、7.2万亿t铅等等。地壳的厚度为16km，仅为地球总体积的1/418。地壳中98.6%的物质由8种元素组成，它们是氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾和镁，其余元素占1.4%，有色金属和稀有金属的含量分别为0.01%、0.001%~0.0001%。但是绝不应被这些数字所迷惑，地壳中化学元素的平均含量虽然是巨大的，可是由于蕴藏分散，有开发价值的实在是太少了。因此，目前还只是利用某一元素储量集中而丰富的矿床。遗憾的是，那样的矿床太少了，而且在地球上分布很不均衡，并且很快就会趋于枯竭。除前苏联外，世界上很难找出一个国家拥有它所需要的全部资源而不需要进口。例如美国，锰、铬、钴、锡，有1/3需要靠进口满足，而铝资源的90%靠进口，此外，铅、锌、钨的进口量也越来越大，对国外铁矿、石油和铜的依赖性也在不断增长。在某一方面，海湾战争不能不说就是由于争夺资源而引起的战争。

应当承认，世界各地的资源都或多或少面临枯竭的威胁。由此有些人预言：日益加速运行的世界经济可能会很快坠入万丈深渊。的确，大地母亲的资源虽然非常丰富，但是也是有限的，我们这个星球上的人类社会不可能靠祖传的开发资源方法长久地发展下去。但是从另一方面看，自然界的化学元素尽管在大力开发，但不可能消灭，而只是转化成其他化合物，因此地球上元素的储备量是个恒定值，迅速减少的只是自然储备量，是进入人类社会经济周转的那一部分。所以，我们也不应过于悲观失望，从现今工业发展的情况看，人类周围的自然界将可能全部是可供加工的原料，也包括化工原料。

2.1 从天然气和石油中获得的化工产品

我国从 20 世纪 50 年代起,在华北、松辽平原和江南水乡展开了广泛的地质普查和石油勘探,先后发现大庆、胜利、辽河、大港、华北、吉林、江汉、江苏、河南、中原等油田,西部的油气田也有了新的发展。目前我国石油探明储量约 940 亿 t(其中陆上 694 亿 t),占世界第八位,同时有些地区尚待继续探明。

我国还是一个天然气资源比较丰富的国家。天然气资源量 38 万亿 m^3 (其中陆上 30 万亿 m^3)。(此外,初步评价我国有煤层气资源 38 万亿 m^3 。)由此可见,我国油气勘探仍然具有巨大的资源潜力,可以保障一定时期内石油工业的持续稳定发展,尤其是天然气工业今后将会快速发展壮大,成为国民经济的一个重要支柱产业。

据统计,到 1998 年我国已建立了 25 个油气生产基地(其中海洋 4 个)。全国年产原油 1.6 亿 t,天然气 223 亿 m^3 分别居世界第 5 和第 18 位。石油工业的发展,为下游石化工业的发展打下了良好的基础。

虽然如此,我们与国外尚有一定的差距。从 1993 年起,我国已成为石油净进口国。目前,国内 25% 的润滑油市场、50% 的液化气市场、53% 的合成树脂市场、44% 的合成纤维市场、52% 的合成橡胶市场已被国外产品所占领。预计,一旦加入 WTO,市场的构成还会发生变化,对石化行业的挑战将更加巨大。1998 年我国原油加工和主要石化产品生产能力以及与世界生产能力的比较见表 2-1。

表 2-1 1998 年我国原油加工和主要石化产品生产能力 单位:万 t/年

项 目	生产能力	产 量	世界生产能力
原油加工能力	24455.00	15239.00	402000.0
乙 烯	422.32	377.24	9101.3
五大通用树脂	875.89	652.22	17000.0
合成纤维	543.47	460.42	2830.0
合成橡胶	79.59	58.92	

2.1.1 天然气及其精制

2.1.1.1 天然气的组成及分类

天然气是埋藏在地下不同地层中的一种以甲烷为主要成分的可燃性气体。天然气中除含有甲烷外,还含有乙烷、丙烷、丁烷及 C_4 以上的烃类。此外,还常含有少量二氧化碳、二氧化硫、硫化氢、氮等气体。

天然气按其组成可分为干气和湿气两类。干气的主要成分是甲烷,在常温下加压不能使其液化。一般每立方米气体中 C_3 以上的烷烃类含量低于 $13.5 \times 10^{-6} m^3$ 的称为干气。高于此值的天然气称为湿气。湿气除含甲烷以外,还含有乙烷、丙烷、丁烷及 C_4 以上的烷烃,在常温下加压可部分液化。

天然气按其来源可分为气井气、油田伴生气。气井气是单独蕴藏的天然气,多为干气。油田伴生气是与原油伴生的天然气,以甲烷为主,也含有乙烷、丙烷或其他多碳原子的气体烃类。

我国天然气产地很多,蕴藏量丰富,其组成如表 2-2 所示。

表 2-2

我国主要的天然气产地及组成

产地	组成/% (体积分数)									
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO	CO ₂	H ₂ S(mg/kg)	H ₂	N ₂
四川	93.01	0.80	0.20	0.05	—	0.02	0.40	20-40	0.02	5.50
大庆	84.56	5.29	5.21	2.29	0.74	—	0.13	30	—	1.78
辽河	90.78	3.27	1.46	0.93	0.78	—	0.50	20	0.28	1.50
华北	83.50	8.28	3.28	1.13	—	—	1.50	—	—	2.10
胜利	92.07	3.10	2.32	0.86	0.10	—	0.68	—	—	0.84

2.1.1.2 天然气的净化

天然气中含有一些有害杂质，如水、二氧化碳、硫化氢等。在一定的温度及压力下，水与烷烃会形成水合物而造成管道堵塞。同时，一些酸性气体对管道及设备会造成腐蚀。所以，在输送天然气之前要对之进行净化。脱除酸性气体的方法有化学吸收法、物理吸收法、吸附法和转化法等。

化学吸收法是指利用碱类或醇胺类等物质（吸收剂）与天然气中的酸性物质进行化学反应而使之被吸附的一种方法。物理吸收法是指天然气中的酸性物质溶解于吸收剂当中，从而使之被吸附—脱除净化；常用的吸收剂有甲醇、丙烯碳酸酯、环丁砜等。若天然气处理量较少，并且其中所含杂质也不多时，可以利用分子筛吸附去除天然气中的有害物质。

2.1.1.3 天然气的分离

天然气中的主要成分是甲烷。为了综合利用天然气，提高天然气资源的经济效益，需要从其中将所含的 C₂ 以上的烃类分离，用作化工原料。天然气常用的分离方法有吸附法、油吸收法、浅冷及深冷分离法等。

吸附法是利用天然气中所含各种烃类对吸附剂的吸附量的差异而进行的，常用的吸附剂是活性炭等。吸附法的工艺过程一般采用三台吸附器交替操作，第一台进行吸附，第二台进行脱附，第三台进行冷却。脱附是用吸附后的干气经增压和加热后作为脱附气，脱附温度为 235~265℃。脱附气经冷凝分离后可回收烃类。吸附法多用于处理气量较小及含液烃量较少的天然气的分离。吸附法装置比较简单。但能耗较大，生产成本也较高。

利用天然气中各组分在吸收油中溶解度的不同，使不同烃类分离的方法称为油吸收法。油吸收分离装置中，主要有吸收塔、富油稳定塔和富油蒸馏塔。在吸收塔中，用吸收油吸收需要回收的烃类，同时也将吸收少量不需要回收的轻组分。吸收烃类的吸收油在富油稳定塔中脱除不需要回收的轻组分，如甲烷，然后再送入富油蒸馏塔中蒸馏出液烃。蒸出液烃后的吸收液经冷却后再送入吸收塔循环使用。

用加压冷冻的方法，可使相应部分的烃类冷凝，由此可将天然气进行分离。冷凝温度在 -20~-40℃ 范围内的冷凝分离法，称为浅冷分离法。将天然气冷却至 -90℃ 左右，由此回收乙烷及 C₂ 以上烃类的分离方法称为深冷分离法。当天然气压力很高，烃含量较低时，用浅冷分离法较适宜。

2.1.2 石油及其加工简介

2.1.2.1 石油的组成及其分类

石油是自然界中主要存在于地球表面以下的一种有气味的从黄色到黑色、粘稠的可燃