

自然科学学科发展战略研究报告之十:高分子材料

Strategic Research on Natural Science Disciplines: Polymeric Materials

国家自然科学基金委员会

一、高分子材料在国民经济和科学技术中的战略地位

高分子材料原料来源丰富,制造方便,品种繁多,用途广泛,效益显著,因此,在材料领域中的地位日益突出。80年代中期,世界上塑料的体积产量已接近钢,化学纤维的年产量已接近天然纤维,合成橡胶的年产量是天然橡胶的两倍。

高分子材料科学是材料科学中一个新兴的分支学科,其基本任务是研究高分子材料的合成以及结构和组成与材料的性质和性能之间的相互关系,探索加工工艺和各种环境因素对材料性能的影响,为改进工艺,提高质量,合理使用高分子材料,开发新材料、新工艺和新的应用领域提供理论依据和基础数据。

二、高分子材料发展趋势

高分子材料科学发展的主要趋势是高性能化、高功能化、复合化、精细化和智能化。

1. **高性能化** 高性能高分子材料是高分子材料科学近年来发展的主要方向。为满足航空航天、电子信息、汽车工业、家用电器等多方面的需要,要求材料的机械性能和耐热性、耐久性、耐腐蚀性等性能进一步提高。高性能化研究主要包括:单一高分子材料的高性能化,通过改性技术高性能化,以及与高性能材料研究并行的高分子材料试验评价技术的研究。对现有品种的改性是今后提高性能,发展品种最主要的途径。

2. **高功能化** 当今世界上已出现一大批高功能高分子材料。主要包括电磁功能、光学功能、物质传输、分离功能、催化功能、生物功能等高分子材料。功能高分子材料是高分子材料中充满活力的新领域,将是高分子材料科学的希望所在。

3. **复合化** 博采众长的复合材料代表了材料的发展方向。高分子材料是结构复合材料最主要的基体之一。以玻璃纤维增强塑料为主的复合材料已进入大规模生产和应用的阶段,高性能结构复合材料是新材料革命的一个重要方向,目前已从试用进入部分实用化阶段,其中应用最多的是聚合物基高性能复合材料。

4. **精细化** 近年来电子信息技术变化日新月异,要求所用的原材料及采用的加工工艺技术进一步高纯化、超净化、精细化、功能化。有机电子材料(例如有机导体和超导体、有机与高分子非线性光学材料、有机铁磁体、有机半导体、光导体等)应运而生。国际上这一研究领域非常活跃,许多国家政府纷纷把它列入高技术发展规划。

5. **“智能”化** “智能”材料是使材料本身带有类似生物具有的仿生高级功能,例如预知预告性、自我诊断、自我修复、自我增殖、认识识别能力、刺激反应性、环境应答性等种种特性,对环境条件变化能作出合乎设定要求的应答。从功能材料到“智能”材料,是材料科学的一次飞跃。

近年来高分子材料工作者提出了如何根据需要制备具有指定性能或功能的高分子材料,即所谓“高分子分子设计”和材料设计的概念。国外正在以下几个方面展开基础研究工作:

1. 继续深入研究组成、结构和性能(或功能)之间的关系,找出定性、定量关系。

2. 按需要制备具有指定链结构的高聚物。

3. 研究在加工成型时,按需要产生一定的聚集态结构、高次结构以及与成型条件、工艺参数的内在联系和相互关系。

4. 高分子材料科学和现代信息处理技术相结合,开发高分子材料分子设计软件、计算机辅助合成路线选择软件、计算机辅助材料选择的专家系统,以及建设高分子材料数据库等。

三、我国高分子材料学科中、 近期发展战略目标

70年代以来,我国高分子材料工业有了较快的发展,近年来通过研究开发、技术改造和引进技术的消化吸收与革新,已形成相当的规模。在基础理论研究以及高分子工业生产技术研究开发方面,有一些已达到国际先进水平。但与国际先进水平相比还有不同程度的差距。我国高分子材料研究在今后一段时期内面临的任务是既要发展基础理论,又要为新兴技术和高技术开发提供新材料。各类高分子材料的中、近期发展战略目标分述如下。

1. 聚合物基复合材料

复合材料是由高分子材料、无机非金属材料等通过复合工艺构成的新材料。复合后的新材料不仅能保持原组成材料的固有特色,而且还具有新的性能。高分子材料是复合材料的主要基体材料,同时还可以制成纤维作为复合材料的增强剂。近年来出现了不少新型耐高温高分子基体材料,特别是热塑性树脂基体发展很快;在增强剂方面已开发出高强度、高模量高分子纤维,以及用高分子纤维作为前驱体的陶瓷纤维。同时,聚合物基复合材料还将由宏观复合进入微观复合。聚合物基复合材料还将用于其它功能要求,如换能、导电、磁性、摩擦、阻尼,甚至可进一步发展成为机敏复合材料或“智能”复合材料,使材料具有自应变能力。

其中、近期重点课题应包括:(1)用仿生技术发展新的更高性能的复合材料。(2)研究利用石油、煤化工、天然野生纤维等进行复合的可行性研究,为解决代木代钢材料提供依据。(3)研究高性能新型热塑性树脂和提高碳纤维与芳纶的新途径。(4)研究复合材料本身的基础问题,如界面对性能的影响、面结构的表征、界面结合的优化条件、复合材料的破坏机制与过程、复合材料的损伤容限与可靠性、复合材料使用寿命的预测和环境及介质老化的机制与防止措施等。(5)与物理及生物学科交叉,设计新颖的功能复合材料。(6)开展混杂和混杂复合材料的研究,特别是混杂效应机制的研究。(7)研究向微观层次发展的分子复合材料和分子自增强复合材料。

2. 聚合物共混物

将两种或两种以上聚合物以一定方式组合起来,形成具有不同于原组份结构与性能的新材料,称聚合物共混物,亦称高分子合金。

聚合物共混物能将已有聚合物进行共混改性,不但使各组份性能互补,还可根据实际需要进行材料设计,以期得到优异性能的新材料;由于不需新

单体合成、新聚合工艺,无三废、无污染,它是发展聚合物新材料的一条重要途径。

对聚合物共混物的结构、性能、工艺技术及其相互关系的深入研究,不但能促进高分子物理、物理化学、材料科学、工艺学等分支学科发展,还将推动新型高分子材料及功能材料的生产应用,具有重要的科学意义和经济价值。其中、近期重点研究课题应包括:(1)大力加强聚烯烃共混改性的基础研究与开发研究,以满足我国汽车工业、家电工业及油气输送管材的需要。(2)重点发展工程塑料的共混改性研究,特别是聚酰胺类合金、聚碳酸酯类合金、聚酯类合金及聚苯醚类合金等。(3)加强聚合物共混物的基础理论研究,如相容性、界面、形态控制以及增韧机理等。(4)研究原位复合和分子复合。(5)加强相容剂的研究,相容剂是开发聚合物共混物及塑料回收的有效手段之一,重点应放在PA、PC、POM、PET、PVC、PE、PP、PS以及PBT之间能相容成为共混物的相容剂的研究。

3. 液晶高分子材料

液晶高分子材料是近十几年迅速兴起的一类新型高分子材料,它具有高强度、高模量、耐高温、低热膨胀系数、低成型收缩率、低比重,以及良好的介电性、阻燃性和耐化学腐蚀性等一系列优异的综合性能,作为液晶自增强塑料、高性能纤维、板材、薄膜及光导纤维包覆层,被广泛应用于电子电器、航天航空、国防军工、光通信等高新技术领域和汽车、机械、化工、医疗等国民经济各工业部门。其中、近期研究开发的目标是:(1)大力发展热致液晶高分子结构材料,特别是共聚酯类的液晶自增强塑料。(2)积极发展高比强、高比模和耐高温的热致液晶高分子纤维。(3)高度重视液晶高分子原位复合材料和分子复合材料的发展。(4)加强功能液晶高分子材料的研究。(5)高度重视液晶高分子的基础和应用基础研究,如高分子液晶理论、液晶态结构、相变动力学与热力学、液晶共聚物的序列结构、液晶高分子结构与功能的关系、液晶高分子的分子设计等基础理论问题。(6)加强为发展液晶高分子材料所必需的原料开发和成型加工技术及设备的研究。

4. 有机电子材料

有机电子材料研究包括:有机导体、超导体、导电聚合物,有机非线性光学效应,有机及高聚物半导体、光导体、有机铁磁体、L-B膜等有关实验、理论和应用的研究,这些研究目前仍处于探索阶段。不是作为现无机电子材料的代用品或其延伸,而将成为继无机材料后不可替代的新一代电子材料。

今后要深入研究有机电子材料的结构与功能的关系,有机光、电、磁现象的机制,有机分子设计和聚集态设计及制备。在应用探索方面应突出有机

电子材料在微电子学、光电子学等高技术方面的应用。中近期应注意以下课题的研究：(1)设计、合成新有机给体、受体，培养具有低维特性的有机导体和超导体晶体。深入研究新的有机晶体结构，分子间的相互作用与低维物理特性的关系。(2)研究分子结构、聚集态结构与导电高聚物性能的相关性，研制高导的导电聚合物，探索电导高聚物成为实用材料的途径，改进高聚物的加工性、空气稳定性及耐久性，得到新一代高性能导电高聚物。探索其应用于能量转换、传感、信息处理、存储和隐身技术等新一代材料的可能性。(3)探索有机和高分子非线性光学材料的合成和研制，包括粉末型、单晶型、薄膜型。研究结构和组份与非线性光学性能的相关性。(4)合成有机高分子铁磁体，研究电子结构、晶体结构与铁磁性的关系，为设计合成具有宏观铁磁性的有机化合物提供信息，加强有机铁磁性的机理研究。(5)继续开展有机半导体、光导载体流子性质、载流子输送的研究。发展适用于有机材料本身所特有的理论。(8)发展L-B、分子外延等有机薄膜技术。研究有机薄膜的光、电、磁性能和结构，积极进行其应用研究。

5. 生物医用高分子材料

生物医用高分子材料，又称为生物材料，是指用以代替、修补(或辅助修复)活体器官或组织，长期和活体组织接触的内植材料。因与医学相关，它在生命科学和功能高分子材料中占有甚为重要的地位。

生物医用高分子材料要求有较高的生物相容性(主要为血液相容性和组织相容性)，能与活体组织浑然成一体。

生物降解吸收性高分子材料是在活体内完成医疗使命后能被水解或酶解为小分子而参与正常代谢的材料。这种材料不仅被用于可吸收缝线、辅助修复材料，而且在药物释放—送达体系上也备受青睐。降解速度可控及其修饰是其研究的热点所在。

硬组织生物材料主要用于骨骼、牙齿、颅骨等支撑或保护软组织器官的结构材料。有前景的研究是无机材料与高分子材料的生物复合材料，或能与活体组织浑然成一体生物陶瓷。作为无机材料的粘合剂，开发无体积收缩的医用粘合剂，在诸如齿科填充材料上颇有意义。

药物的送达—释放体系用高分子材料的研究是生物医用高分子材料的一大热门。刺激响应型或定点、定量、定时的“智能”型高分子送达—释放体系是颇具魅力的课题，它将更接近于活体的器官功能。

其中近期发展的课题应有：(1)生物相容性高分子材料，特别是高度生物相容性材料、杂化材料

的分子设计与合成，生物相容性机制的研究。(2)生物降解吸收性高分子材料以及生物降解速度“可控”、可供进一步化学修饰的降解性材料的分子设计及合成、修饰反应及降解机制方面的研究。(3)无机材料(特别是生物陶瓷)和有机高分子的生物复合材料、杂化材料的合成及其性能的研究。(4)特殊的新型生物医用粘合剂(特别是聚合时无体积收缩的单体的合成、聚合及其性能的研究)。(5)药物释放—送达体系高分子材料中药物对生物相容性(或生物降解性)材料的透过、扩散性质及其控制的研究以及定点、定时、定量释放药物的“智能型”药物送达—释放体系高分子材料的化学修饰，生物活性物质的释放机制的研究。

6. 分离材料(I)—离子交换材料和吸附分离材料

分离材料主要包括高分子分离膜材料、离子交换材料和吸附分离材料，广泛用于水处理、电力工业、湿法冶金、糖类精制、食品加工、原子能科学技术、化学工业、医药卫生、生物技术、分析化学、环境保护等领域。

我国分离材料的中、近期战略研究课题应包括：(1)研究开发具有重大经济价值及重大工艺革新的离子交换膜技术。(2)开展提高国内现有离子交换树脂品种质量的研究。(4)开展合成吸附剂、碳纤维吸附剂的研究。(5)开展记忆性分离材料的研究。(6)开展分离技术的研究。(7)开展分离功能高分子材料的结构、性能及表征的研究。

7. 分离材料(II)—高分子分离膜

近20多年可谓是膜分离技术发展的黄金时代，多种类型的膜都得到实用化，正在工农业生产和科学技术领域里有成效的使用。膜分离技术的关键在于高效的膜分离材料。开发新型膜分离材料，改进膜结构，加强超薄膜和复合膜的研究已成为国外高分子分离膜的发展动向。通过均质膜的化学结构优化，分离膜交联程度调节，多孔膜表面化学结构和孔结构的优化以及不对称膜的孔结构优化等多种途径，正不断开发出新类型的高分子分离膜及新品种的高分子分离膜材料。

我国高分子分离膜材料的研究开发已取得较大进展，中、近期重点发展课题应包括：(1)研究开发反渗透膜、超滤膜、微滤膜、透析膜等膜分离装置，提高实用化的技术水平。(2)研究开发各种类型的气体分离膜，重点开发氮/氢分离膜、富氧分离膜、二氧化碳气体分离膜，达到大型化、实用化。(3)重点突破氯碱工业用全氟高分子交换膜的工业化制造技术。(4)开展对渗透汽化膜、蒸馏膜等新类型的高分子分离膜的研究。(5)开展高分子分离膜的结构优化系统研究。(6)选择一些重点应用系统，将膜分离操作与传统分离技术相结合，使混合系统达

到最佳化,扩大高分子分离膜的应用范围。

8. 高分子材料加工成型及高效助剂

高分子材料加工成型是将原料转变成具有一定形状,而又有使用价值的制品的过程。成型过程中,高分子材料、助剂、加工设备密切相关。助剂不仅提高加工效率,改进制品的性能和使用寿命,而且可以赋予制品一些特殊的功能。目前,国际上已不再将高分子材料加工视为单纯的物理成型过程,而是把它看作控制制品性能的中心环节。80年代以来,围绕节能、节约原料、提高生产效率和改善制品性能,在加工技术上出现了反应性加工技术和动态注射成型等新技术,并注意到开发废旧高分子材料的回收利用技术。利用计算机辅助工程可对高分子材料加工过程进行数字模拟,研究加工条件的变化规律,预测制品的结构性能,选择制品和模具设计以及工艺条件的最佳方案。

中近期重点发展课题应为:①加工成型基础理论;②加工中的计算机辅助工程;③反应加工技术;④加工成型技术与设备;⑤高分子材料高效助剂;⑥废旧高分子材料的回收利用等的研究。

9. 高分子材料中的新技术

随着科学技术的发展,一些新兴的现代化科学技术,如电子束、光子束、等离子体、激光、磁场、超声波、微波、高分子复合、生物酶等,已进入高分子

材料科学领域,在高分子材料制备和加工应用中取得了一些出人意料的结果。研究和应用这些新技术,将对我国高分子材料工业的发展起促进作用。

采用新技术可以制得性能更为优异的高分子材料。这些新技术虽多处于实验室研究阶段,一旦突破,对高分子材料工业和学科的发展将起不可估量的作用。中、近期的战略目标为:①对已有一定基础的,并已工业化的电子束、光子束技术应着重提高产品质量;②对在工业应用方面行将取得突破的技术,如等离子体、超声波、分子复合等,应加强应用基础研究;③对尚处于空白或基础薄弱的微波、激光磁场、离子注入和生物酶技术,应迅速建立研究网点。

10. 航空航天特种高分子材料

航空航天用特种高分子材料的性能与水平是决定航空航天高技术产品性能水平的重要因素,对产品寿命、效率、精度等有十分重大的影响。

中近期重点发展课题应为:高比强、高比模、高断裂应变纤维材料的基础技术研究,高纯度、耐高温、抗氧化、“零”膨胀高分子材料的基础技术研究,高性能防热材料的基础研究,多功能材料的基础研究,隐身材料的基础研究,阻尼材料与技术的基础研究,特种环境条件下使用的特种高分子材料的基础研究。

(责任编辑 刘先曙)

科技动态

我国高超声速飞行器复杂流动研究进入新阶段

【本刊讯】由国家自然科学基金资助的空气动力学中基础性、前沿性课题——旋涡、激波和非平衡起主导作用的复杂流动研究,在著名空气动力学家庄逢甘教授主持下,联合航空航天部701所、北京航空航天大学、中国科大研究生院、北京大学、中科院力学所和计算中心、清华大学、中国空气动力研究与发展中心等单位140名科技人员,协同配合,从旋涡流动的特性及其控制,剪切层和旋涡运动对外激发作用的响应特性,气流中运动激波波系相互作用,激波绕射规律,高分辨数值模拟和光测实验,高温气体动力学中的非平衡效应,非平衡稀薄气流数值模拟,过渡区的实验研究与关联,内流复杂流场数值模拟,粘性分离流场和旋涡运动的数值模拟等8个方面进行研究,取得了出色的研究成果。在旋涡的流动特性及其控制的三维激波边界层干扰研究方面,取得了比国外更为完整系统的试验数据,在分离流和旋涡运动的性状研究方面,在国际上首次得到了流动分离的数学条件和附着线上必须满足的条件,并证明了分离线是极限流线的收拢线且本身也是极限流线,但极限流线的收拢不是判定分离线的充分条件;首次得到了分离线上

奇点分布的拓扑规律,弄清了旋涡沿涡轴Hopf分叉的演变机制;在弯曲管道内流研究获得了强弯曲管道内二次流的数值模拟结果,在稀薄气流的数值模拟研究方面得到了国际著名学者称赞。今年6月中旬通过了国家自然科学基金委组织的专家验收,验收组认为:该项研究总体上处于国际同类工作的前沿,许多研究成果具有很大的创造性和特色,其成果总起来看处于国际先进水平。其中如分离流和旋涡的流场分析,数值计算的高精度、高分辨率格式研究,涡控制技术,稀薄气体流动的数值计算方法,波动力学等尤其突出。流场测量及显示技术是流体力学的重要研究手段之一,在我国现有条件下能取得这样优秀的成果,是很值得赞扬的。

参与该项目的科研人员先后在国际和全国性学术刊物及重要学术会议上发表论文320多篇,出版专著3本。庄逢甘教授在第18届国际航空科学大会上所做的“涡控制技术”学术演讲,荣获大会颁发的“古根海姆奖”。

此项研究的成果不但在学术上有重大意义,而且在航空、航天、机械、动力、化工等许多工程领域有广泛的应用背景。

(柯辛 文 责任编辑 刘先曙)