

## 工程塑料实验室发展历程及展望

### 基本情况

化学所从事工程塑料及其相关领域的研究始于20世纪80年代,1991年利用世界银行贷款“重点学科发展项目”开始实施“工程塑料国家重点实验室”建设项目,1993年获准边建设边开放,1995年作为工程塑料国家重点实验室通过国家验收,漆宗能任室主任(1992~1997)。1999年整合烯烃聚合、耐高温芳杂环等高分子化学部分研究组,整体进入中国科学院知识创新工程的重要组成部分——北京物质科学基地分子科学中心。2003年北京分子科学国家实验室筹建,工程塑料室纳入国家实验室管理,2004年验收为中国科学院工程塑料重点实验室。实验室主任分别为:何嘉松(1997~2003)、王笃金(2004~2014)、阳明书(2015~现在)。

实验室瞄准国家石油化工和高新技术材料产业发展中的重大科学问题和关键技术,重视可持续发展和环境友好,在高性能/功能化聚烯烃新材料、多相多组分大品种高分子复合材料、天然和生物医用高分子材料等领域开展基础和应用基础研究,致力于成为上述领域技术创新和人才培养的重要基地和在国际上具有重要影响的研究单元。

实验室现有研究队伍130多人,其中在职职工35人,博士后6人,研究生60多人,项目聘用人员20多人,来自国外的留学生和博士后人员9人,包括国家杰出青年基金获得者2人,中科院百人计划2人,化学所杰出青年人才计划1人,研究员8人,副研究员15人,高级工程师及高级实验师7人。

### 发展历程及科研方向布局

化学所从事高分子复合材料的研究最早可追溯到吴人洁任主任的复合材料研究室。为满足国防建设的需要,从1971年开始吴人洁主持系统开展了利用Lewis酸处理的聚丙烯腈连续化制备碳纤维、炭素盘根、碳-碳复合烧蚀材料等研究工作,以及相应的树脂基复合材料力学性能、界面行为、热焘松弛等应用基础研究,在东方红卫星用结构材料、隔热材料的研制与应用方面取得了重大进展,先后获得中国科学院重大科技成果一等奖(1980年)和国家科技进步特等奖(1985年)。漆宗能主持了国内第一台粘弹谱仪及热释电仪的研制和“航空高压氟塑料管破坏机理和质量改进”与“航空安全玻璃脱粘机理和质量改进”研究,为解决国防工程关键技术作出了重要贡献。

上世纪80年代,针对国家在汽车、家电等行业的快速发展,实验室将研究方向定位为高分子材料的改性与复合。通过共混、增强和增韧等手段,成功研究10多项汽车用聚丙烯工程塑料(保险杠、风扇、隔热罩等)和洗衣机内桶专用料,通过了技术鉴定,并在昌平建立了中试基地。电机塑料外冷风扇及专用料工业化试制获北京市星火二等奖(1991年)及国家星火三等奖(1992年);复合材料界面和非线性结构设计获中国科学院自然科学三等奖(1992年);汽车用聚烯烃工程塑料及合金材料的研究获中国科学院科技进步一等奖(1996年)。

90年代后期实验室的研究方向与目标为:通过对烯烃聚合催化剂及可控聚合、高分子材料的增强增韧、塑料高性能化的新技术、苛刻环境中高分子材料的极限性能的研究,实现对高分子多层次结构的设计、剪裁与控制,制备适用于不同要求的高分子材料。明确提出了通用塑料升级为工程塑料,工程塑料高性能化新技术,高性能工程塑料服务于国家重大战略需求(简称“通用塑料工程化、工程塑料高性能化、高性能塑料实用化”)的目标。

胡友良、肖士镜、谢光华等通过研究影响催化剂活性中心的电子效应和位阻效应两大因素,找到了化学反应法制备高效载体催化剂的规律;利用毛细管挤压成球技术,成功地研制出能取代国外聚丙烯催化剂的球型催化剂。以此为基础,建成了年产100t催化剂的生产线,研究成功的高效催化剂在辽宁营口向阳催化剂有限责任公司生产,“球型催化剂工业化研究”获辽宁省科技进步一等奖(2000年)。

漆宗能等建立了聚合物多相体系的、有分子参数的脆韧转变的损伤竞争理论和判据,提出了刚性粒

子增强增韧的新途径,通过界面设计和接枝技术,解决了刚性粒子填料的均匀分散与原位形成柔性界面相的技术关键,打破了只有用橡胶才能增韧的传统观念,首次成功地制备出不含橡胶的超高韧性、高刚度的聚乙烯、聚丙烯、尼龙等工程塑料。“聚合物增韧及机理研究”获中国科学院自然科学三等奖(1999年)。漆宗能等率先开展聚合物/粘土纳米复合材料的研究,在理论上认识层状硅酸盐的化学改性,层状硅酸盐在聚合物中的插层、剥离的机理,以及原位纳米复合的热力学与动力学规律及界面作用等;在技术上解决了克服纳米粒子团聚、促进分散的技术难题,提出了适用于不同类型高分子的纳米复合材料系列制备技术,制备出插层型或剥离型的聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料,并完成了数种产品的工业化生产和应用,获河北省科学技术进步二等奖(2000年)。

何嘉松等阐明了在聚合物中实现亚微米增强的基本规律,提出了原位混杂复合材料的新概念与原位混杂增强新技术,发现流变混杂效应,从而解决了纤维增强塑料粘度大、难于加工成型的难题,成功地实现了在微米和亚微米两个层次尺寸上的混杂协同增强效应,提高了材料的强度和韧性,何嘉松本人获Flory高分子研究奖(2008年)。

### 近年取得的重要进展

实验室在聚烯烃材料领域以聚烯烃高性能化为目标,在催化剂、聚合方法以及聚烯烃结构与性能关系三个研究方向上开展了有针对性的基础和应用研究,取得系列成果。研究成果积极向我国聚烯烃树脂工业进行转化,其中具有独立知识产权的铁系乙烯齐聚催化剂已经在中石化燕山石化的500t $\alpha$ -烯烃中试装置上得到应用并运行良好;自主创新的聚丙烯釜内合金技术被中石油采用,目前已经完成了中试技术开发,正在进行万吨级工业试验设计;聚烯烃结构与性能关系的研究成果指导中石化新型低密度聚乙烯牌号的开发,取得了显著的经济效益。“聚烯烃高性能化的基础研究”获得2009年北京市科学技术奖一等奖;“氢调法高流动聚丙烯催化体系、聚合工艺开发及工业化应用”获2012年北京市科学技术奖二等奖和2014年中国产学研合作创新成果奖;“高性能聚烯烃材料制备及应用技术研究团队”获2014年中国科学院科技促进发展奖获奖团队科技贡献奖二等奖。

在聚合物纳米复合材料的制备、结构与性能研究等方面取得了研究进展,在聚合物纳米复合材料微观结构与宏观热性能、阻隔性能、老化与降解、燃烧行为等性能的关联上取得突破。部分聚合物纳米复合材料产品得到成功应用,并获得2008年北京市科学技术奖二等奖。通过纳米粒子的表面化学改性,使其与石蜡关键成分相匹配,并控制粒子表面电荷量,制备了新型有机无机纳米杂化新型降黏降凝剂,用于我国东北管网高黏原油的输运,对管网运输安全起到重要保障作用。获得2013年中国石油和化学工业联合会技术发明奖一等奖,2013年美国机械工程师学会(ASME)“全球管道奖”“Global Pipeline Award”,2014年北京市科学技术奖二等奖等奖项。

在生物医用与环境友好高分子材料领域,取得系列开创性成果:(1)设计与合成了对纤维素具有优异溶解性能的新型离子液体,提出并实验验证了纤维素在离子液体中的溶解机理,以离子液体为溶剂制备了不同类型的再生纤维素材料,并发展了以离子液体为介质的纤维素均相衍生化方法,合成出系列纤维素酯和新型纤维素接枝共聚物。所取得的研究成果为纤维素材料加工、均相衍生化反应的清洁生产新技术和新工艺提供了重要的科学依据,对于纤维素以及生物质资源的高效利用具有重要的理论价值和应用前景。与山东恒联集团合作进行的“以离子液体为介质制备再生纤维素薄膜的新工艺”工业化研发项目取得系列进展,建成了一条完整的再生纤维素薄膜的离子液体工艺示范生产线,“绿色纤维素膜清洁生产新工艺”通过科技成果鉴定,鉴定结论为:以离子液体直接溶剂法生产纤维素膜的工艺为国际首创,其综合技术水平国际领先,获得北京2013年北京市科学技术奖一等奖等奖项;(2)利用低成本非石油资源原材料合成了新型可生物降解塑料,制备了系列高分子量的新型可生物降解脂肪族聚酯及脂肪族聚碳酸酯,与国内大型企业合作进行了中试放大实验,系统研究了其结构/性能关系,吹膜制备了综合性能优异的可生物降解薄膜,为可生物降解材料在农用膜、包装膜领域的应用奠定了基础。在聚酯PET无毒催化剂的合成方面取得重要进展,已通过工业化应用试验;(3)与企业合作,成功开发出长碳链聚酰胺树脂工业化制备与应用关键技术,填补了国产长碳链聚酰胺树脂、输油管专用料产业化技术的空白,并打破了跨

国公司的垄断,为我国汽车行业、电子电气、高速轨道交通等重点领域的发展提供了关键基础材料。

### 思考与展望

实验室针对国家石油化工和高新技术材料产业发展中的重大科学问题和关键技术,关注可持续发展和环境友好,着重从材料科学的角度,用新原理、新技术、新工艺研究高分子材料的结构-加工-性能之间的相互关系,重视高分子材料研发的成果转化,在高性能/功能化聚烯烃新材料、多相多组分大品种高分子复合材料、天然和生物医用高分子材料等领域开展基础和应用基础研究,致力于成为上述领域技术创新和人才培养的重要基地和在国际上具有重要影响的研究单元。

(执笔人:阳明书 张 军 王笃金 何嘉松)