

项目申请指南

高分子学科动态与国家自然科学基金 2017 指南

董建华

(国家自然科学基金委员会化学科学部, 北京 100085)

摘要:重点综述近年来高分子领域若干方向研究前沿进展与动态。对国家自然科学基金化学部高分子学科 2016 资助情况进行了介绍, 给出了 2017 年项目申请指南。

关键词:高分子前沿进展; 基金申请指南; 学科动态

本文对高分子领域中几个前沿方向的近年研究进展进行概述, 希望以此展示包括高分子化学、功能高分子、高分子物理等分支领域的最新发展动态, 并对国家自然科学基金委员会化学科学部高分子学科 2016 年资助情况和 2017 年项目指南进行介绍。

1 高分子化学

在 高分子化学合成方面, 时有新颖反应方法报道。主要研究是围绕能源、健康和环境等领域发展需求, 进行功能化高分子的构筑。最近, 高分子合成前沿领域的进展主要集中在如下方面。

1.1 无金属催化的可控聚合反应

无金属催化的可控聚合反应包括用有机化合物做催化剂或者采用光化学反应引发进行的可控聚合。这类反应最大的优点是聚合产物没有残留的金属杂质。

用有机电子给体(OED)作为引发剂进行烯烃和环状酯类无金属催化聚合^[1]、该聚合反应时间短, 条件温和, 仅需少量还原剂, 无需共引发剂, 也不需要光化学或电化学等外加条件, 其引发过程涉及到电荷转移导致单体被还原。基于 OED 引发剂, 有望发展出适用于工业过程的有效、快速、室温下进行的聚合过程, 这样的工艺具有节能、价廉和安全的特点。

以 OED 替代辛酸亚锡作为催化剂进行丙交酯开环聚合, 所获得聚乳酸无毒性残留物, 更适于用作生物医用高分子^[2,3]。

ATRP 聚合是烯类单体在铜盐或其它金属盐作用下进行可控自由基聚合的方法。然而, 聚合物中金属盐残留一直是制约其应用的问题之一, 重金属盐不仅加速聚合物的老化, 而且限制了所得聚合物在医用材料领域的应用。光诱导引发聚合具有如下特点: 反应器与光源简单, 对聚合过程可通过光源开关快速启动和停止, 进而可实现精确控制聚合。近年来, 研究者报道了用光敏剂替代铜盐作引发剂进行 ATRP 聚合^[4,5]。其中, 光敏剂受光辐照后生成的自由基需要带有一定的正电性, 进而能与溴或其它卤素自由基可逆结合形成休眠种, 适于丙烯酸酯类单体, 但由此制得的聚合物分子量偏小。最近, 有文献报道了以光致氧化还原催化剂替代贵金属配合物引发进行易位聚合^[6]和以光敏剂引发进行正离子可控聚合^[7]。无金属 ATRP 这类研究可通过 DFT 理论, 计算出催化循环各个中间体的氧化还原电势, 进而探讨光敏剂激发态电子离域规律, 并对导致一系列 5,10-二芳基二氢吩嗪衍生物催化剂性能差别的原因给予了合理解释。运用 DFT 理论计算能指导理性设计和选择 ATRP 聚合光敏剂, 通过取代基电子效应调控光敏剂光致氧化还原电位, 实现更高效的催化剂的设计合成, 并将进行聚合的激发光波长调到可

见光区^[8]。该体系可实现丙烯酸酯类单体和苯乙烯单体等可控的嵌段共聚合。

1.2 多组分聚合反应

将三种以上的非传统单体经反应形成聚合物,例如,已报道的 Pasarini 三组分聚合反应^[9];炔、醛或单质硫和胺进行的聚合反应^[10];用氨基酸通过简单高效的 Ugi 四组分聚合反应合成获得多肽,该聚合物具有良好生物相容性、抗菌性和药物控制释放功能^[11];通过三组分 Biginelli 反应制备链结构连续变化、具有不同物理性能的系列聚合物^[12],并建立了聚合物结构与其 T_g 相关性,利用所得关系式,可预测该类聚合物特定结构所对应的 T_g 。

1.3 序列精密控制聚合

自然界大分子中,序列精密控制的结构带来了生命过程中高度专一的功能。精密控制重复单元在聚合物链中的序列分布被称为高分子合成的“圣杯”。

通过催化剂转移聚合反应合成了由呋喃、噻吩和硒酚周期序列排布的 π -共轭聚合物,其链长可控、分散度窄,其形貌为纳米纤维状^[13]。通过改变杂环序列可调控该聚合物的带隙、氧化还原电位。

1.4 基于可再生资源的聚合物合成

基于可再生来源化合物弹性体的合成、聚酯的合成^[14,15]都引起广泛关注。

1.5 大品种高分子合成新方法

通过催化剂设计与调控,实现了高分子量带功能基团的聚乙烯的合成^[16],获得了具有线性结构、高熔点和分子量高达百万的共聚物。

发展了一种二苯基桶烯桥联二亚胺 Ni(II)消旋配合物,以此配合物为催化剂,进行乙烯聚合时,具有特殊聚合行为^[17]。与其它类似的催化剂相比,该催化剂作用下获得的聚乙烯具有窄分布、支化度低的特点。室温下进行聚合具有活性聚合特征、获得线形结构的聚乙烯。该聚乙烯 T_m 高达 135.8℃。此外,还能实现乙烯与生物可再生极性单体 10-甲基十一酸酯共聚,得到线形酯基功能化聚乙烯。

研究不同稀土金属配合物催化苯乙烯间规聚合的行为,发现 Lewis 碱与中心金属配位,阻碍了单体与中心金属配位,致使配合物的催化活性大幅降低^[18]。以弱 Lewis 酸或 Lewis 碱催化可控聚合,通过向催化体系中交替加入 Lewis 酸和 Lewis 碱,调控中心金属周围的空间位阻,实现了对配位聚合的开/关控制。该方法与现有氧化/还原控制、光控制、电压控制的开关聚合相比,不仅实现了对聚合物立构规整度的控制,而且具有开/关响应速度快、效率高、操作简单等优点。在含磷 Lewis 碱和有机铝作用下,实现迈克尔类型的极性单体(如丙烯酸酯、丙烯酰胺和乙烯基吡啶等)催化精密聚合,可控制聚合物分子量和微结构,具有活性聚合特征^[19]。

通过配位聚合^[20]可获得高全同聚(2-乙烯基吡啶),其 T_m 高达 205℃、 T_d 为 350℃。

1.6 共价有机高分子骨架材料和二维高分子合成

共价有机框架(Coalent organic frameworks, COFs)是一类单体分子在二维或三维空间内通过高度有序拓展连接而形成的有机多孔聚合物,其框架结构内部均匀分布了具有特定形状和尺寸的孔道,这些孔结构赋予共价有机框架一些独特的性质和重要的应用。

以 D_{2h} 对称四苯乙烯四胺与两种链长的 C_2 -对称联苯二甲醛和三联苯二甲醛缩合获得具有大三角形孔、小三角形孔和不等边六边形孔组合而成的三种异孔的多结构混合链接的共价有机框架分子^[21],其结构经粉末 X-衍射和孔径分布分析所证实。

合成了含有均匀或非均匀分布 π 共轭脱氢苯并萘为基元的 COFs,将不同比例的 C_3 -对称脱氢苯并萘儿茶酚与 C_2 -对称茈-2,7 二硼酸生成 3 种新型 COFs。这类 COFs 在固态时具有高结晶性和特殊荧光性质^[22]。

自 2005 年第一例 COFs 报道以来,因其结构是通过共价键将功能基元周期性稳定固定在高表面材料中,在气体存储、催化、储能等方面有潜在应用价值。然而,大部分早期报道的研究多采用含硼氧键等可逆弱键,易水解或氧化,因而不稳定。近来,许多研究试图选择新的化学反应,以实现 COFs 更稳定的共价链接,通过深入理解 COFs 的形成与控制过程,为新型功能化 COFs 研究提供了结构控制新途径^[23]。

2 功能高分子

2.1 光电功能高分子

太阳能电池无疑是快速发展的领域,其中一个主要新进展是基于非富勒烯电子受体聚合物太阳能电池^[24,25]。该研究在 2016 年化学领域热点领域排第一位,也是中国学者引领国际研究的领域。这为聚合物太阳能电池注入了新的活力,也为该领域发展点燃了新的希望。例如,基于茚酰亚胺小分子受体的电池效率达 9.3%^[26]。又如,占肖卫等^[27]报道了氰基茚酮类芳杂稠环平面电子受体新体系,基于此类电子受体的单结高分子太阳能电池的光电转换效率超过 12%,是有机太阳能电池当时的最高效率^[28]。非富勒烯太阳能电池的效率现在已超过富勒烯太阳能电池的效率,实现了历史性的转变,使有机光伏领域的发展进入新阶段。

俞等^[29]合成了带有四个 α -茚酰亚胺电子受体同时与核共价链接,形成交叉构象的共轭体系,用该电子受体替代 C_{70} 衍生物制备的太阳电池远高于相应体系,其光电转换效率达 8.47%、开路电流 $J_{sc} > 18 \text{ mA/cm}^2$ 。

在三组分聚合物太阳能电池研究中,合成了一种制备工艺简单、价格低廉、可用醇类溶剂湿法加工的有机非共轭小分子作为有机太阳能电池的阴极界面,代替传统的需要蒸镀的 Ca、Mg、LiF 或结构复杂的有机共轭聚合物等界面材料,用于电池的界面调控。利用这类材料对有机太阳能电池器件界面和结构进行优化,把单结正型聚合物太阳能电池的光电转换效率提高至 10.02%,突破了单结有机太阳能电池 10% 的效率瓶颈^[30,31]。

刘俊等利用硼氮配位键设计高分子电子受体材料^[32~35],设计并合成了两类硼氮配位键高分子电子受体材料,该材料替代富勒烯制得的太阳能电池光电转换效率较高。

聚合物材料的性能与其化学结构和材料聚集态结构密切相关,如何通过控制材料化学结构来获得优化的微观形貌并由此取得更高的性能,给材料的设计带来挑战。特别是对基于给/受体纳米共混薄膜的聚合物电池研究领域,深入理解材料化学结构、聚集态结构与器件性能之间的联系,对于进一步发展高效的聚合物太阳能电池材料至关重要。黄飞等基于不对称的 5-氟-2,1,3-苯并噻二唑(FBT)杂环单元,通过精确的化学合成设计实现了对目标聚合物材料主链上氟取代基、烷基链取代基朝向的有效调控,得到了一系列局部化学环境不同的局域规整共轭聚合物电池材料。利用 GIXD 技术对相关材料开展研究,发现聚合物主链上微小的局部化学环境的改变,对聚合物之间的链间堆积和聚合物与富勒烯衍生物受体之间的相互作用力带来显著影响^[36]。对于主链结构相同的共轭聚合物,采用缩短烷基链长度、增加氟原子含量或提高氟原子的取向规整度三种不同方法,分别对材料最终的光物理性质、形貌结构和器件性能具有显著的影响。

热电高分子最近取得了长足的进步,值得继续关注^[37]。在电池材料中,新的电池隔膜高分子材料、电极材料、电存储材料体系都有快速的发展^[38,39]。

2.2 生物医用高分子

生物医用高分子研究总是在巨大而广泛的需求牵引下发展,但实际应用的要求却不易达到。蛋白类药物通常需要以生物相容性合成高分子键联保护,以改善其药代动力学和治疗效果。PEG 化是广泛采用的方法,但由于蛋白上偶联位置异构化,导致其混合物降低生物活性。蛋白质偶联技术仍然存在一系列局限性,如偶联位点选择性差和偶联效率低等,这些局限性严重制约了蛋白质偶联物在生物医药中的广泛应用。

高卫平在蛋白质分子上定点原位聚合获得了干扰素-高分子偶联物,如以原位聚合方法在干扰素 C 残基接枝聚合聚丙烯酸(齐聚聚乙二醇)酯,能大大提高产率,抗癌效果突出^[40,41]。

在多孔海绵状甲壳素表面以多重氢键自组装涂覆凝血酶/单宁酸,制备了新型止血绷带。全血凝血

实验表明,该材料具有高凝血速度。由于凝血酶/单宁酸相互作用,固定化凝血酶室温储存半寿命延长到了 66 天,提高了 8.5 倍^[42]。

以聚乙烯亚胺-聚赖氨酸(PEI-PLL)共聚物与 siRNA 复合,形成不同粒径的基因转染控释体系。其细胞内输运能力非常优异,与常规 PEI-25k 相比,PEI-PLL 表现出很高的基因沉默效率和低毒性^[43]。抗癌研究表明,PEI-PLL 与 siVEGF 复合物对 CT26 肿瘤模型具有很强的抑制效果。

3 高分子物理

在 高 分 子 物 理 领 域,探 究 高 分 子 玻 璃 化 转 变、高 分 子 理 论 模 型 方 面 都 有 新 的 建 树。

安立佳等提出了剪切抑制解缠结模型^[44]。特别值得指出的是,俞燕蕾等^[45]利用烯烃开环易位聚合,结合仿生构筑纳米层状结构的概念,设计合成了非交联液晶高分子。该类材料强而韧,加工性能优异,是具有光致形变和自修复等性能的第二代光致形变材料。俞燕蕾等还制备了结构可控的直形、S 形、螺旋形的自支撑微管执行器。这种微管执行器利用不对称光致形变实现了对液体运动的精确操控,不仅可光控多种极性和非极性液体的运动和融合,还能够操控复杂混合液体以及多种生物样品的运动。利用梯度光照可实现液体输运方向和速度的任意调控,并能实现长程操控,还可以驱动液体爬坡以及产生三维运动轨迹。此外,还可以借助流体运动时产生的涡流对被驱动固液流体进行搅拌,这种搅拌方法充分利用了流体动力学效应,而无需依赖搅拌装置或特殊的微流体设计,为微流体搅拌提供了一种高效简便的解决方案。

值得重视的是共轭聚合物半刚性连聚集态调控,这类聚合物不符合传统的凝聚态理论模型,为解决高分子物理问题提供了新体系和新机遇,同时又对光电功能高分子性能优化和调控具有重要实际意义,如相态结构与载流子迁移率的关系直接与太阳能电池性能、发光器件、场效应器件等密切相关。以混合溶剂和调控挥发速度能够改变聚噻吩和 C₆₀ 衍生物相态结构,进而调控太阳能电池光电转换效率。因聚合物链在晶区规则 π - π 堆积排列,共轭聚合物结晶区域的载流子迁移率高于无定型区域,通过增加结晶度来增强载流子迁移率值得重视。共轭聚合物半结晶特性使其起到有限的作用。而高结晶度的共轭聚合物因机械性能耐受性,不适用于柔性电子应用。通过无定型区域的多个共轭主链骨架形成局域聚集提供了提高载流子迁移率的途径。通过改变无规共聚物烷基侧链密度,产生局域化聚集,调控这些侧链立体阻碍,改变密度和结晶度^[46]。结果表明,与高结晶度聚(3-己基噻吩)相比,无规共聚烷基侧链低密度和低结晶度对场效应管性能有增强作用。

利用聚合物表面刷状聚电解质抗衡离子能够可逆交换性质,研究了聚合物刷表面抗衡离子调控水成冰的异相成核,多种抗衡离子的该效应符合离子的 Hofmeister 效应序列。异相成核温度窗口可达 7.8℃^[47]。

崔树勋等与合成高分子学者合作,分别设计合成了带一代或二代树枝化侧基聚合物、甲壳型聚合物以及支链长度不同的梳状聚合物,利用单分子力谱研究了无扰条件下高分子侧链的长度和形状对单链焔弹性的影响^[48],得到了新的认识:一般情况下单链焔弹性是由主链决定的,而侧链对单链焔弹性的影响可以忽略不计。这一结论可以推广到多种主链结构的高分子。

研究了聚乙二醇(PEG)在 4 种有机溶剂中的单链弹性,观测到了溶剂分子尺寸对高分子单链弹性之影响^[49]。实验结果表明,PEG 在小分子溶剂(如 C₂H₂Cl₄ 和 C₉H₂₀)中的单链力曲线与 QM-FRC 模型的拟合曲线重合,此时的 PEG 表现出本征(无扰)弹性;在中分子溶剂(如 C₁₂H₂₆ 和 C₁₆H₃₄)中的单链弹性明显偏低。两个条件下力曲线的差异就是中分子溶剂对 PEG 单链弹性的影响,通过积分可知中分子溶剂产生的焔效应是每个重复单元 1.54kB T。

在形状记忆、自修复领域,近来研究者取得了新进展。在可修复聚氨酯研究方向,利用氨基甲酸酯的交换反应实现形状记忆和可修复功能,打破了对聚氨酯体系的传统认识^[50]。形状记忆材料从永久形状

变成临时形状发生的是弹性形变。在聚合物体系中引入一种可交换共价键,受热时能发生分子间的连接重组,这类新材料与传统形状记忆材料相比,具有无可比拟的新性能。植入新形状的过程不是“擦除”之前的永久形状,而是将新形状叠加到其中,称之为形状累积效应。利用这种效应,可以制备目前加工方法无法实现的复杂形状^[51]。

以六亚甲基二异腈酸酯与 PEG 反应形成三官能团带有香豆素侧基的聚氨酯,因香豆素在光照下可进行二聚或解聚,该聚合物能在室温紫外光照下多次反复自修复。软段 PEG 分子量大小与该聚氨酯自修复性能密切相关^[52]。

研究了不同拉伸率熔体喷纺聚丙烯/单臂碳纳米管(SWCNT)纤维对聚合物结晶和力学性能的影响^[53]。在高倍数拉伸时,该体系形成的糖葫芦串结晶结构中,伸展聚丙烯链与 SWCNT 作为杂化串棒、层状聚丙烯作为圆片状串晶。在高拉伸倍数形成的复合体系中,纤维因取向度提高、SWCNT 束分散和生成糖葫芦串结晶结构,抗张强度和模量有了大幅提高。

4 高分子学科发展动态

最近,《自然》期刊报道了美国国家科学基金会组织的研讨会,介绍了与会学者对今后高分子领域发展趋势提出的一些观点和意见^[54]。

近期 3D 打印技术正在高分子加工中获得广泛重视。

高分子研究典型特征是从化学、物理、功能、材料,到加工和应用的贯通,具有多尺度、多层次特点。软物质工程中,对于理性分子设计和模块化思路,提出了先进材料结构与功能合成子概念。这与材料基因组学理念相关^[55],分为结构合成子和功能合成子,应当认识和重视多层次结构在分子功能转化并放大到宏观材料方面的重要性。

高分子领域还有许多经典和主流问题需要大家关注。社会经济发展对高分子学科的研究不断提出新的基本科学问题。

5 国家自然科学基金高分子科学学科 2016 资助情况

主要问题有两个方面,申请环节是申请量偏少;评审环节是个别函评专家认真程度有待进一步提高。

表 1 化学科学部高分子科学学科 2016 资助情况
Table 1 Funding of program projects in polymer science in 2016

项目类别	资助项目数	资助率/%
面上项目	130	26.9
青年基金	95	26.2
地区基金	15	22.6
优秀青年基金	7	9
重点国际合作项目	3	60
仪器	1	33.3
重大项目	1	—
重点项目	7	38.8
应急项目	19	—

6 高分子科学学科 2017 年指南稿

高分子科学是研究高分子的合成、化学结构与链结构、聚集态结构、性能与功能、加工及应用的学科

门类,研究对象包括合成高分子、生物大分子和超分子聚合物等软物质体系。

在 高 分 子 化 学 领 域,要 进 一 步 发 展 各 种 聚 合 方 法 学,善 于 借 鉴 其 它 学 科 新 成 果,深 化 新 型 聚 合 反 应 催 化 或 引 发 体 系 的 探 索,发 展 温 和、高 效、绿 色 和 高 选 择 性 高 分 子 反 应 方 法;要 重 视 聚 合 物 分 子 量 和 产 物 结 构 可 控 的 聚 合 反 应,关 注 大 分 子 的 生 物 合 成 方 法,研 究 高 分 子 参 与 的 化 学 过 程;要 注 重 以 非 化 石 资 源 合 成 高 分 子、注 重 超 分 子 聚 合 物、超 支 化 高 分 子 和 手 性 聚 合 物 等;要 重 视 光 电 功 能 高 分 子 宏 量 合 成 方 法 学 研 究。

在 高 分 子 物 理 领 域,要 进 一 步 加 深 对 软 物 质 凝 聚 态 基 本 规 律 的 认 识;要 关 注 聚 合 物 结 晶、液 晶 和 玻 璃 态 及 其 转 变 过 程,关 注 多 层 次 聚 集 态 结 构 及 其 动 态 演 变 路 径;要 重 视 对 高 分 子 表 面 与 界 面、纳 微 结 构 尺 度 效 应 等 问 题;加 强 对 高 分 子 溶 液 和 聚 合 物 流 变 学 的 研 究;要 重 视 发 展 高 分 子 的 表 征 技 术,重 视 利 用 大 科 学 装 置 开 展 高 分 子 结 构 表 征;加 强 高 分 子 新 理 论 和 多 尺 度 关 联 的 计 算 模 拟 方 法 的 研 究;要 重 视 与 生 命 现 象 相 关 的 高 分 子 物 理 问 题 的 研 究;加 强 光 电 功 能 共 轭 高 分 子 半 刚 性 链 本 体 凝 聚 态 物 理 研 究。

在 功 能 高 分 子 领 域,要 进 一 步 认 识 和 发 展 高 分 子 功 能 材 料 与 功 能 体 系,如 具 有 电、光、磁 特 性 的 高 分 子,与 生 物 学、医 学、药 学 相 关 的 高 分 子,可 用 于 吸 附、分 离、试 剂、催 化、传 感、分 子 识 别 等 方 面 的 高 分 子;要 推 动 功 能 高 分 子 作 为 先 进 软 物 质 材 料 在 新 能 源、信 息 技 术、生 物 医 学 和 环 境 科 学 等 领 域 的 应 用,要 特 别 关 注 能 源 高 分 子 发 展;要 善 于 从 天 然 高 分 子 和 生 物 大 分 子 研 究 中 寻 找 高 分 子 科 学 发 展 的 新 切 入 点 和 生 长 点,鼓 励 合 成 高 分 子 与 生 物 大 分 子 之 间 的 交 叉 领 域 研 究;要 重 视 环 境 刺 激 响 应 性 高 分 子、环 境 友 好 高 分 子、自 修 复 高 分 子 和 仿 生 高 分 子 新 体 系 的 研 究。功 能 化 二 维 高 分 子 和 多 孔 共 价 聚 合 物 骨 架 大 分 子 合 成 是 高 分 子 合 成 新 的 生 长 点。

在 高 分 子 组 装 领 域,要 以 超 分 子 聚 合 物 和 包 含 有 高 分 子 的 超 分 子 组 装 体 为 研 究 对 象,研 究 高 分 子 之 间、高 分 子 与 小 分 子 之 间、高 分 子 与 分 子 聚 集 体 之 间 组 装 过 程,研 究 超 分 子 组 装 体 组 分 或 高 分 子 与 界 面 之 间 的 多 重 弱 相 互 作 用 协 同 效 应 及 其 本 质,并 通 过 调 控 非 共 价 键 作 用 制 备 不 同 尺 度 及 形 貌 的 有 序 组 装 体,实 现 组 装 体 的 功 能。

在 应 用 高 分 子 化 学 与 物 理 领 域,要 进 一 步 发 展 重 要 高 分 子 品 种 的 聚 合 方 法 与 反 应 过 程 控 制 方 法;发 展 高 分 子 加 工 与 工 艺 方 法。应 善 于 从 高 分 子 工 业 与 高 分 子 实 际 应 用 中 提 取 重 要 的 基 本 科 学 问 题,要 关 注 高 性 能 聚 合 物、高 分 子 复 合 体 系、化 学 纤 维、高 分 子 弹 性 体、高 分 子 膜、阻 燃 高 分 子、天 然 高 分 子、有 机/无 机 杂 化 高 分 子、老 化 与 服 役 和 反 应 性 低 聚 物 及 其 作 为 薄 膜 与 涂 层 等 方 面 的 应 用 基 础 研 究。

需 加 强 高 分 子 学 科 的 基 本 科 学 问 题 和 经 典 问 题 研 究,这 类 研 究 特 别 需 要 上 述 领 域 的 交 叉 与 贯 通 研 究。

近 年 来 本 学 科 受 理 的 申 请 项 目 中,聚 合 反 应 方 法 学、结 构 表 征 方 法 学 等 方 向 偏 少,青 年 基 金 和 地 区 专 项 基 金 申 请 偏 少,需 引 起 重 视。

重 点 项 目 有:(1)高 分 子 可 控 合 成;(2)光 电 功 能 高 分 子;(3)高 分 子 理 论 计 算 与 模 拟;(4)聚 合 物 凝 聚 态 物 理;(5)生 物 医 用 高 分 子 的 基 本 问 题;(6)高 分 子 多 层 次 结 构 与 性 能 关 系;(7)生 物 成 像 或 生 物 检 测 高 分 子;(8)聚 合 物 表 征 方 法。

7 结 语

高 分 子 学 科 发 展 到 今 天,遇 到 了 许 多 发 展 中 的 问 题。我 国 高 分 子 领 域 无 论 是 论 文 数 量、论 文 引 用 及 发 明 专 利 数 量,还 是 高 分 子 工 业 规 模 都 已 是 世 界 大 国,近 10 年 我 国 在 高 分 子 领 域 发 表 论 文 数 大 大 超 过 了 其 他 国 家,占 比 四 分 之 一 左 右,稳 居 榜 首,被 引 用 次 数 也 已 是 第 一。然 而,高 被 引 用 论 文 数 量 尚 不 十 分 突 出,对 高 分 子 工 业 新 技 术 发 展 贡 献 率 还 有 待 提 升。如 何 从 高 分 子 大 国 走 向 高 分 子 强 国? 一 个 学 科 是 科 技 强 国 的 标 志 有 哪 些? 如 何 改 变 惯 性 思 维 顺 应 发 展 趋 势 是 近 期 需 要 大 家 回 答 的 问 题。

参考文献：

- [1] Broggi J, Rollet M, Clment J L, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2016,55(20): 5994~5999.
- [2] 中国发明专利,201510319853. 6.
- [3] Zhi X, Liu J J, Li Z J, et al. *Polym Chem*, 2016,7(2):339~349.
- [4] Treat N J, Sprafke H, Kramer J W, et al. *J Am Chem Soc*, 2014,136(45): 16096~16101.
- [5] Ohtsuki A, Lei L, Tanishima M, et al. *J Am Chem Soc*, 2015, 137(16): 5610~5617.
- [6] Ogawa K A, Goetz A E, Boydston A J. *J Am Chem Soc*, 2015,137(4): 1400~1403.
- [7] Perkowski A J, You W, and Nicewicz D A. *J Am Chem Soc*, 2015,137(24):7580~7583.
- [8] Theriot J C, Lim C-H, Yang H S, et al. *Science*, 2016, 352(6289):1082~1086.
- [9] Zhang J, Zhang M, Du F S, et al. *Macromolecules*, 2016, 49(7): 2592~2600.
- [10] Hu R R, Li W Z, Tang B Z. *Macromol Chem Phys*,2016,217(2):213~224.
- [11] Zhang X J, Wang S X, Liu J, et al. *ACS Macro Lett*, 2016,5(9):1049~1054.
- [12] Xue H D,Zhao Y,Wu H B, et al. *J Am Chem Soc*, 2016,138(28): 8690~8693.
- [13] Tsai C H, Fortney A, Qiu Y Y, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(21): 6798~6804.
- [14] Zhou X X, Wang R G, Lei W W, et al. , 2015,58(10): 1561~1569.
- [15] Gao S H,Wang R G, Fang B W, et al. *J Appl Polym Sci*,2016,133(1):42855.
- [16] Dai S Y, Chen C L. *Angew Chem Int Ed*, 2016,55(42):13281~13285.
- [17] Long B K, Eagan J M, Mulzer M, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2016, 55(25): 7106~7110.
- [18] Liu B, Cui D M. *Angew Chem Int Ed*, 2016, 55(39):11975~11978.
- [19] Knaus M G M, Giuman M M, Pothig A, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(24):7776~7781.
- [20] Sole D, Perez-Janer F, Zulaica E, et al. *ACS Catal*, 2016, 6(8):4907~4913.
- [21] Pang Z F, Xu S Q, Zhou T Y, et al. *J Am Chem Soc*,2016, 138(14): 4710~4713.
- [22] Crowe J W, Baldwin L A, McGrier P L. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(32):10120~10123.
- [23] DeBlase C R; Dichtel W R. *Macromolecules*,2016, 49(15): 5297~5305.
- [24] Lin Y Z, Zhao F W, Qiao H, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(14): 4955~4961.
- [25] 中国发明专利 201510664958. 5, 201510057918. 4.
- [26] Meng D, Fu H T, Xiao C Y, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(32): 10184~10190.
- [27] Lin Y, Wang J, Zhang Z, et al. *Adv Mater*, 2015, 27, 1170~1174.
- [28] Li S, Ye L, Zhao W, et al. *Adv Mater*, 2016, 28(42):9423~9429.
- [29] Wu Q H, Zhao D L, Schneider A M, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(23): 7248~7251.
- [30] Zhang Y, Deng D, Lu K, et al. *Adv Mater*, 2015, 27, 1071~1076.
- [31] Ouyang X H, Peng R X, Ai L, et al. *Nature Photonics*, 2015,9(8): 520~524.
- [32] Dou C D, Ding Z, Zhang Z, et al. *Angew Chem In. Ed*, 2015, 54(12): 3648~3652.
- [33] Zhao R, Dou C D, Xie Z, et al. *Angew Chem In Ed*, 2016, 55(17): 5313~5317.
- [34] Dou C D, Long X, Ding Z, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2016, 55(4): 1436~1440.
- [35] Long X, Ding Z, Dou C D, et al. *Adv Mater*, 2016, DOI: 10.1002/adma.201601205.
- [36] Zhou C, Zhang G C, Zhong C M, et al. *Adv Energy Mater*, DOI: 10.1002/aenm.201601081.
- [37] 中国发明专利,CN104241515A.
- [38] Ye W, Zhu J, Liao X J, et al. *J Power Sources*,2015,299, 417~424.
- [39] Qu G, Cheng J, Li X, et al. *Adv Mater*,2016, 28, 3646~3652.
- [40] Hu J, Wang G, Zhao W, et al. *Biomaterials*, 2016, 96, 84~92.
- [41] Hu J, Wang G, Zhao W, et al. *J Controlled Release*, 2016,237, 71~77.
- [42] Huang X F, Jia J W, Wang Z K, et al. *Chin J Polym Sci*, 2015, 33(2): 284~290.
- [43] Chen J, Jiao Z X, Lin L, et al. *Chin J Polym Sci*, 2015, 33(6): 830~837.
- [44] Lu Y Y, An L J, Wang S Q, et al. *Macromolecules*, 2015, 48(12): 4164~4173.
- [45] Lv J A, Liu Y Y, Wei J, et al. *Nature*,2016,537(7619): 179~184.
- [46] Son S Y, Kim Y Y, Lee J W, et al. *J Am Chem Soc*, 2016, 138(26): 8096~8103.
- [47] He Z Y, Xie W J, Liu Z Q, et al. *Science Advances*, 2016,2:e1600345.

- [48] Luo Z L, Zhang A F, Chen Y M, et al. *Macromolecules*, 2016, 49(9):3559~3565.
- [49] Luo Z L, Zhang B, Qian H J, et al. *Nanoscale*, 2016, 8:17820~17827.
- [50] Zheng N, Fang Z Z, Zou W K, et al. *Angew Chem Int Ed*, 2016, 55(38):11421~11425.
- [51] Zhao Q, Zou W K, Luo Y W, et al. *Sci Adv*, 2016, 2(1): e1501297.
- [52] Ling J, Rong M Z, Zhang M Q. *Chin J Polym Sci*, 2014, 32(10): 1286~1297.
- [53] Gao Y, Zong G Y, Bai H W, et al. *Chin J Polym Sci*, 2014, 32(2): 245~254.
- [54] Peplow M. *Nature*, 2016, 536(7616):226~228.
- [55] Zhang W B, Cheng S Z D. *Chin J Polym Sci*, 2015, 33 (6): 797~814

Trends in Polymer Science and NSFC Guide to Funding Program in Fiscal Year 2017

DONG Jian-hua

(*Department of Chemical Science, National Natural Science of China, Beijing 100085, China*)

Abstract: An overview on the recent progress in polymer science was conducted. The funding projects in 2016 for programs on polymer science in the department of chemical science were introduced. The guide to funding program in fiscal year 2017 was provided.

Key words: Guide to funding of NSFC; Progress in polymer science; 2016 Funding in polymer science