

微波辐射用于聚合反应的研究进展

易昌凤, 邓字巍, 徐祖顺^{*}

(湖北大学化学与材料科学学院, 武汉 430062)

摘要:微波辐射在分子化学研究领域中应用越来越广泛, 效果也十分明显, 与常规加热方式相比, 微波辐射具有缩短反应时间, 提高反应产率, 节省能源损耗, 制得产物性能好等优点。近年来, 微波辐射在聚合反应中的应用也越来越多。因此本文对微波辐射在分子聚合反应中的应用研究进行了综述。

关键词:微波辐射; 聚合; 分子; 应用

微波是一种频率在 300MHz~300GHz 的电磁波, 在化学反应中, 通常采用 2450MHz 的微波进行辐射反应。微波辐射代替常规加热方法进行反应, 有着内部加热、清洁、节能、体系易控制等优点。并且, 反应体系温度的高低取决于微波功率和介质的介电性质, 对特定的反应体系有加速反应作用^[1,2]。与紫外线、X 射线和电子束等高能辐射源相比, 微波辐射对分子化合物的作用深度大, 它的运行费用低廉、安全、高效、操作简便等特点, 倍受人们的关注。在分子领域中, 微波辐射多应用到分子材料加工^[3~5]、固化^[6,7]。近年来, 微波辐射逐渐应用到聚合反应中, 微波辐射代替一般加热方法来加速聚合反应, 得到结构和性能都很优异的高分子聚合物, 其优势正被研究人员所认识。

1 微波作用原理

微波辐射反应有“致热”和“非致热”两种效应, “致热效应”使反应物分子运动加剧, 而使反应体系温度升高, 而微波的“非致热效应”则是来自微波辐射场对离子和极性分子的洛伦兹力作用^[8]。传统观点认为: 微波加速反应是由于微波辐射对极性有机物的选择性加热, 是微波的“致热效应”^[9], 其加热机理是极性有机物质在外加电磁场作用下, 内部介质的极化, 产生的极化强度矢量落后于电场一个角度矢量, 导致与电场相同的电流产生, 构成物质内部功率耗散, 从而将微波能转化为热能。

在微波辐射下, 反应体系对微波辐射能的吸收可由下式表达^[10]:

$$P = KfE^2 \epsilon'(T) \tan \delta(T) \quad (1)$$

$$\epsilon'' = \epsilon'(T) \tan \delta(T) \quad (2)$$

式中 P 为单位体积物质的吸收功率(W/cm^3); K 为常数 55.61×10^{-14} ; f 为频率(Hz); E 为电场强度(V/cm); ϵ' 为介电常数; $\tan \delta$ 为介质损耗角正切; ϵ'' 为介电损耗因子, T 为样品温度。由(1)和(2)式可见, 在频率和电场强度一定条件下, “致热效应”取决于介电损耗因子 ϵ'' 。而在微波辐射聚合反应中, 体系对微波能的吸收可以通过改变电场强度或体系的介电性质来控制, 使体系对微波辐

基金项目:湖北省自然科学基金;

作者简介:徐祖顺(1963—), 男, 教授, 博士, 现主要从事乳液聚合、分散聚合、功能高分子等领域的工作。

^{*} 通讯联系人。

射能更好的吸收,加速聚合反应。

目前,化学研究中将微波频率固定在 2450MHz,是由于有机化合物中基团的旋转振动频率与此频率接近,所以微波辐射可以有选择的活化某些基团,促进化学反应,将它应用到聚合反应中,加速聚合反应,提高反应产率,给聚合反应研究提供了新的思维方法。

2 微波辐射乳液聚合

1994 年 Murray 等^[11]首次将微波辐射应用到乳液聚合反应,制得单分散胶体高分子微球,他们采用最大输出功率为 1000W,频率为 2450Hz 的微波反应器,将单体 *N*-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、引发剂过硫酸铵和交联剂 *N,N'*-亚甲基双丙烯酰胺,按一定配比密封在反应容器中。在高压和 400W 输出功率的条件下,进行微波辐射反应。反应时间由传统加热方法的 6h 减少到不足 1h。制备的聚 *N*-异丙基丙烯酰胺微球通过 TEM、DSC 等方法表征,结果表明微波辐射制备的聚 *N*-异丙基丙烯酰胺微球的物理化学性质与传统聚合方法相似。运用 TEM 对两种方法制备的微球形态进行了比较,发现微波辐射制备微球的平均粒径($360 \pm 25\text{nm}$)小于传统加热方法制备微球的平均粒径($380 \pm 28\text{nm}$),而微波辐射制备微球的单分散性更好。

张文敏等^[12]在 Murray 实验基础上,对微波反应器进行改进,反应器上装上了冷凝管,机械搅拌等装置。使乳液聚合反应在常压下进行,分别制备出表面光洁的单分散聚苯乙烯微球和聚(苯乙烯-顺丁烯二酸)微球。传统的乳液聚合方法制备单分散聚苯乙烯微球,需要严格控制加热温度和搅拌速度,反应通常需要 20h,微波辐射下反应时间为 1h,就可以完成聚合反应(见图 1.)。微波辐射 20min 后,转化率可达 98%,反应为爆发式进行,无恒速阶段。而传统乳液聚合反应需要经过三个阶段(加速阶段、恒速阶段、减速阶段)才完成聚合反应。这是由于极性分子在微波辐射下,要发生定向极化和转向运动,但分子间的相互作用和分子的热运动,会使分子的转向运动受到阻碍,而产生“内摩擦”,使体系温度迅速升高,形成剧烈反应的“热点”。这些“热点”是以引发剂的分解物为中心,以高分子链节在高频电场中的活动范围来决定其半径。这就决定了它们不仅是高分子聚合反应的活性点,而且为单分散微球的形成提供了有利条件。此外,他们制得的聚(苯乙烯-顺丁烯二酸)纳米微球,由 TEM 测得粒径为 $97 \pm 8\text{nm}$ 。IR 测得微球结构中含有功能性基团(羧基)表明此微球为功能性微球。

Correa 等^[13]也深入研究了苯乙烯在微波辐射中的乳液聚合,反应体系由苯乙烯、过硫酸钾、十二烷基硫酸钠和二次蒸馏水组成。研究发现微波加热速率受单体与水的比率、电磁场强度、反应混合物体积和反应瓶的几何形状等因素的影响,聚合速率是传统加热的 70 倍,并且相应的聚合物分子量是常规方法的 1.2 倍。

唐业仓等^[14,15]在微波辐射下分别制备了聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯和聚(苯乙烯-甲基丙烯酸甲酯-丙烯酸)复合微球。研究表明采用微波辐射,在引发剂浓度一定条件下,微球的体积与单体的浓度呈线性关系,即粒子数不随单体浓度而变化,这一规律说明微波有利于一次性成核,这也是

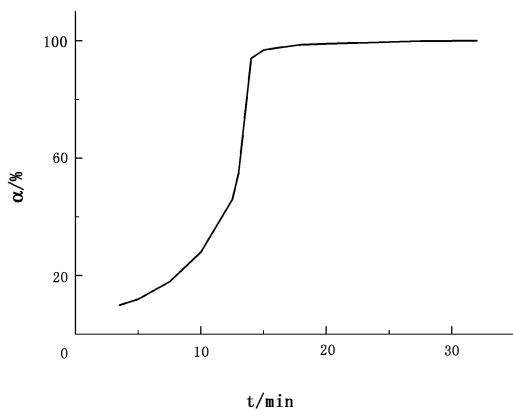


图1 苯乙烯转化率(α)随微波辐射时间(t)变化曲线

Figure 1 Conversion(α) cure of polymerization of styrene

微波辐射能制得单分散微球体系的原因所在。He 等^[16]采用微波辐射对甲基丙烯酸丁酯(BMA)进行无皂乳液聚合,体系采用过硫酸钾(KPS)为引发剂。发现 KPS 在微波辐射下分解速率比常规加热大 10 倍之多(70℃下,常规加热 k_d 为 $2.33 \times 10^{-5} \text{S}^{-1}$,微波辐射 k_{dw} 为 $3.10 \times 10^{-4} \text{S}^{-1}$);所以,微波辐射 1.5h 完成聚合反应,而常规加热需要 12h。而且,微波辐射下制备的 PBMA 微球比常规加热制备的微球粒径更小,分布更窄。包建军等^[17]也采用微波辐射无皂乳液聚合制备聚甲基丙烯酸甲酯粒子,其粒子形状规整,粒径分散系数为 1.03,达到单分散要求。

Zhu 等分别研究了苯乙烯^[18]和甲基丙烯酸甲酯^[19],在高能量脉冲微波辐射条件下的乳液聚合。研究表明脉冲微波辐射能明显提高乳液聚合速率和转化率;脉冲微波辐射制备的聚合物玻璃化温度(T_g)和聚合物组成,与常规加热制得产品没有明显差异。说明脉冲微波辐射通过微波的“非致热效应”加速整个聚合反应,但对制备的聚合物物理性质和微观结构影响较小。

3 微波辐射溶液聚合

在极性溶液中聚合时,采用传统加热方法聚合,假如体系生成线形聚合物,能使反应体系粘度增大,或生成网状结构聚合物,而使反应体系成冻胶状,阻止单体深层加热聚合,导致转化率下降。而利用微波辐射对材料强的穿透力,产生深层加热作用,使高分子溶液聚合反应转化率特别高。

采用微波辐射制备高吸水性树脂,路建美等^[20]做了许多研究工作,他们采用微波辐射丙烯酸钠水溶液聚合,反应由常规加热的 6h 缩短为 2.5min,得到的树脂吸水速度快,1min 达到吸水最大值,吸收率为 920g/g。他们又以甲基丙烯酸二甲氨基乙酯和丙烯酸为单体, N, N' -亚甲基双丙烯酰胺为交联剂,偶氮二异丁腈的丙酮溶液为引发剂,利用微波辐射进行溶液聚合,制得两性高吸水性树脂,研究了共聚物的吸水性能与共聚单体组成、反应液 pH 值、交联剂用量、引发剂用量诸因素的关系。所制得的树脂吸水率达到 1060g/g,对 50%的甲醇水溶液的吸液率为 280g/g,对 0.9%的盐水溶液的吸液率为 170g/g。

在其它溶液聚合反应研究中,将苯代三聚氰胺(BGA)溶于二甲基甲酰胺(DMF)中通 N_2 10min,溶解后加入甲苯基二异氰酸酯(TDI-80),以三乙烯二胺作扩链剂进行 BGA 与 TDI-80 微波辐射溶液聚合成聚脲反应,反应控制在 75℃,微波辐射反应与常规加热相比,制备的聚合物的特性粘数随辐射能量增加呈上升趋势,产率也随辐射能量增加而增大。并且,反应出现最佳反应温度范围。微波辐射反应最佳反应温度范围为 45~65℃,而常规加热为 70~90℃。可见微波辐射可以活化反应单体的作用,增大了分子的活性,使聚合反应在较低温度下进行。同时,也说明了微波辐射聚合反应具有“致热”和“非致热”两种效应^[21]。

顾梅等^[22]采用微波辐射进行丙烯酰胺(AM)水溶液聚合反应。讨论了微波聚合条件下,反应转化率与时间的关系(见图 2)。研究发现聚丙烯酰胺的

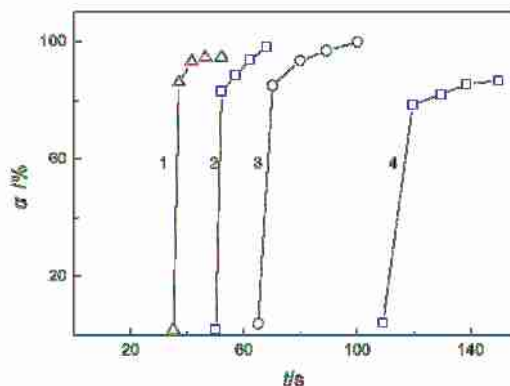


图 2 微波辐射对丙烯酰胺转化率(α)的影响曲线图

Figure 2 The effect of reaction time(t) on the conversion(α) of monomer

[AM]=9.0%; [K₂S₂O₈]=1.0%; P(1)=430W;

P(2)=210W; P(3)=170W; P(4)=100W.

转化率随微波辐射时间的增加过程中,有一突增点,在1~2s内转化率几乎可以从0达到80%左右,而在另一方面,其它条件不变下,聚合反应的诱导期随微波输出功率的增加而缩短:430W为34s,210W为50s,170W为68s,100W为110s。

同时,他们还研究了在不同功率辐射下,微波辐射对聚合物分子量的影响。聚合初期,产物的分子量短时间内迅速增大,然后随微波能量的增加呈下降趋势。这是由于反应初期微波辐射能量的增加,链引发和链增长速率也较快。所以,短时间内可获得较大分子量,随着能量的进一步提高,体系温度上升,引发剂快速分解导致自由基浓度增加,链转移反应加快,从而使分子量下降。采用430W的微波辐射36s,聚合物分子量可得 7.5×10^6 ,转化率达99%,相比常规溶液聚合,反应时间大大缩短,并且转化率提高较大(常规加热需2h完成聚合反应,分子量仅达到 3.2×10^6 ,转化率只有72%)。

Shadpour等^[23~25]采用微波辐射溶液缩聚,制备了一系列光学活性的芳烃族聚酰胺-酰亚胺(PAIs)(见图3),他们用少量的极性有机物邻甲苯酚作为介质,使反应体系更好的吸收微波能,加速聚合反应,在十几分钟内可以完成反应,而传统加热方法需要十几个小时聚合。微波辐射制备的PAIs,在不同有机溶剂中有好的热稳定性,说明微波辐射是制备新聚合物的有效方法。

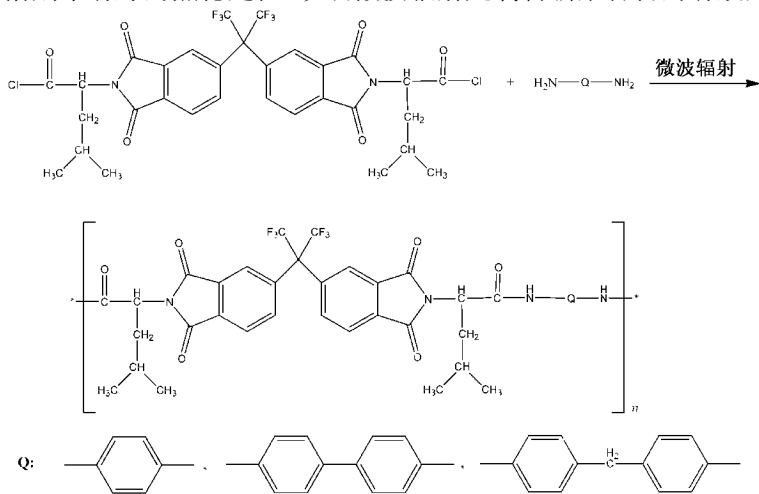


图3/Figure 3

4 微波辐射本体聚合

许多聚合单体本身即为极性分子,在微波辐射场中能强烈的吸收微波能,进行聚合反应,与常规聚合相比,由于微波辐射反应速率快、产率高,制得的产物性能好等优点,常常被应用于本体聚合反应中。

Chia等^[26]分别研究了苯乙烯(St)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)在两种不同的功率300W和500W下微波辐射聚合,两种单体聚合速率明显提高。而St和MMA最终转化率却随功率增加而下降:St在300W时为69%,500W时为65%;MMA在300W时为84%,500W时为78%。他们还相继研究了丙烯酸甲酯(MA),分别在三种功率辐射下的本体聚合,与常规加热相比,微波辐射聚合的反应速率提高率分别为:500W提高275%,300W提高220%,200W提高138%,需要说明的是MA在三种不同功率辐射下,最终转化率却不随功率的大小而改变,维持在89(±1)%,这一点与St、MMA的最终转

化率在微波辐射下随功率的增加而下降不同^[27]。

李杰等^[28]也采用微波辐射甲基丙烯酸进行本体聚合,微波输出功率越大,加速反应速率越快,反应时间越短,发生的诱导期越短。传统水浴加热聚合,需要 3~5h 达到 90% 的转化率,而微波辐射 10min 就可以使反应完成,转化率达到 90% 以上。采用微波辐射还可以应用到制备功能高分子反应中,Chen 等^[29]以 C_{60} 为引发剂,使 *N*-乙烯基咔唑聚合制备光导材料(见图 4),微波辐射 10min,收率为 70% 以上。并且,聚合物分子量随 C_{60} 浓度的增加而增加。传统加热 10min,收率为 8%。在引发剂浓度相同条件下,两种加热聚合方式制得的聚(*N*-乙烯基咔唑)分子量和分子量分布基本相同,物理化学性质基本相似。

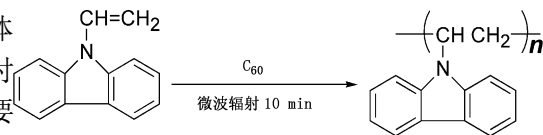


图 4/Figure 4

5 微波辐射其它聚合反应

Fang 等^[30]采用微波辐射进行 $LiAl(OCH_3)_3H$ 催化 ϵ -己内酰胺与 ϵ -己内酯开环共聚(见图 5),制备了聚(ϵ -己内酰胺- ϵ -己内酯)。两种环单体的介电性质说明 ϵ -己内酰胺与 ϵ -己内酯能强烈的吸收微波辐射能,加速聚合反应。制得的聚合物中 N 的含量随反应时间、温度和催化剂用量的增加而增加,但聚合物的分子量随催化剂用量增加而降低。聚合物的 T_g 随 N 含量增加而增大,与常规方法制得的产品相比,微波辐射制得的相同分子量的聚合物的 N 含量高、 T_g 高、收率也高。

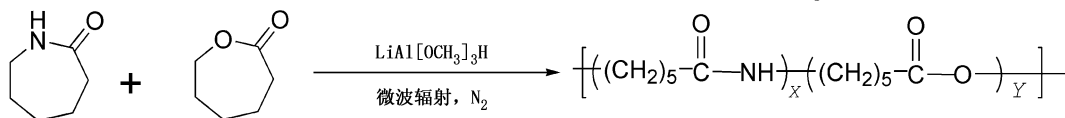


图 5/Figure 5

Yu 等^[31]研究了微波辐射 ϵ -己内酯的开环聚合。680W 微波辐射 240min,通过苯甲酸引发制得聚(ϵ -己内酯)的 M_w 达到 44800,多分散指数 M_w/M_n 为 1.6;而在 210℃ 条件下加热 240min,制得产物 M_w 为 12100, M_w/M_n 为 4.2。说明微波辐射能明显提高聚合速率,制得聚合材料的分子量分布比较窄。

微波辐射还可以用于固相聚合,制备性能优异的高分子材料。Chen 等^[32]研究了微波辐射下聚酰胺酸聚醚酯的固相酰亚胺化反应动力学,与传统热酰亚胺化相比,微波辐射能降低反应温度,缩短反应时间。这是由于聚醚柔性链段能够嵌入聚酰胺酸骨架中,增加其流动性,使基团的活性提高。60℃ 条件下,微波固相酰亚胺化反应 3h 就可使 65% 的酰胺酸转化为酰亚胺,而热酰亚胺化 115℃ 反应 12h 才有 68.3% 的酰胺酸转化为酰亚胺。研究人员还对马来酸酐微波辐射固相聚合进行了研究,反应是利用在辐射场中极性分子高速振荡、极化,随高频磁场交替排列的特点,使本体难以聚合的马来酸酐在少量引发剂、甚至不用引发剂的条件下发生聚合,反应时间大大缩短^[33]。Frederick 等^[34]研究了微波辐射下对苯甲酸乙二醇酯(PET)和尼龙 66 固相聚合反应,微波的热效应可以促进 PET 和尼龙 66 相互渗透,缩短聚合反应时间,提高反应产率。

Zhu 等^[35]将微波辐射用于原子转移自由基聚合(ATRP),研究了不同引发剂作用下甲基丙烯酸甲酯聚合情况,对反应转化率、聚合物分子量以及分子量分布的研究与传统加热方法进行了比较,在 270~630W 功率下,辐射 2.6~5min,反应转化率达到 70%。即使在引发剂浓度很低的情况下,反应速率常数比常规加热大很多,聚合物的分子量呈窄分布。通过对不同引发剂(苄基溴、偶氮二

异丁腈、对甲苯磺酰氯)进行研究比较,对甲苯磺酰氯的引发剂效率最高,分子量分布指数为1.17,聚合速率最大。所以微波辐射 ATRP,提高了单体和引发剂的活性,引发效率随功率的增加而增大,加速了微波辐射聚合反应,提高了反应收率。Chen 等^[36]研究了甲基丙烯酸甲酯在脉冲微波辐射下的反向原子转移自由基聚合,采用 AIBN/CuBr₂/TMEDA(三甲基乙二胺)为引发体系,在4.5W 低功率下辐射 52min,转化率为10.5%;制得聚合物数均分子量为34500,多分散指数为1.23。而传统加热 103min,转化率仅达到8.3%。通过对低功率条件下脉冲微波辐射聚合的深入研究,表明低功率下的“致热效应”可以忽略,而“非致热效应”对提高反向原子转移自由基聚合速率起着主要作用。Chen 等还报道了甲基丙烯酸甲酯在不同引发剂体系下的微波辐射原子转移基聚合^[37,38]。

Lu 等^[39]研究了微波辐射条件下,以 Al₂O₃、SiO₂ 无机化合物为载体,顺丁烯二酸二丁基锡(DBTM)与烯丙基硫脲、DBTM 与硬脂酸乙烯酯(SAVE)等十种聚合体系的聚合反应。发现反应单体在聚合过程中,通过无机载体作用其反应活性会发生改变;不同类型载体对同种单体反应的活性影响不同。

微波辐射其它聚合反应,还有许多文献报道,本文不再一一赘述。

6 展望

微波的“致热效应”和“非致热效应”是微波辐射化学反应及高分子材料改性研究的基础。“非致热效应”在聚合反应中的理论研究将是研究的重点;有许多的聚合方法,采用微波辐射反应还没有深入研究。同时微波辐射技术还存在一些不足:如微波反应装置和反应器到目前为止还不是非常完善,如何使微波反应器提供更详细和更准确的温度梯度信息和准确控制反应温度等问题都需要进行深入研究;不可否认目前绝大多微波辐射聚合反应都还处于实验研究阶段,如何加速微波辐射技术在实际生产中的应用以及微波辐射在分子化学领域有无其它作用等等;这些都是摆在化学工作者面前的问题。相信随着研究的深入,人们对微波作用于高分子的机理及非热效应有进一步的了解。微波辐射在分子聚合物的合成和改性方面,将会有巨大的应用前景并会产生巨大的经济效益。

参考文献:

- [1] Palacios F, Valverde C. *New Polymeric Materials*, 1996, 5(1): 93.
- [2] Correa R, Gonzalez G, Dougar V. *Polymer*, 1998, 39(6): 1471.
- [3] Xu X, Zhang A. The 14th Annual Meeting of Polymer Processing Society (PPS-14). Yokohama, Japan; June 8—12, 1998.
- [4] Xu X, Zhang A. The 37th IUPAC International Symposium on Macromolecules. Gold Coast, Australia; July 12—17, 1998.
- [5] 张爱民, 李惠林, 何其佳, 等. *高分子材料科学与工程*, 2002, 18(3): 98.
- [6] Boey F Y C, Yap B H, Chia L. *Poly Tes*, 1999, 18: 93.
- [7] Fang X, Ronald H, Scola D A. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2000, 38: 2526.
- [8] 黄卡玛, 刘永清, 唐敬贤, 等. *高等学校化学学报*, 1996, 17(12): 764.
- [9] 谢筱娟, 杨高林, 程林, 等. *化学试剂*, 2000, 22(4): 222.
- [10] 张兆堂, 钟若青. *微波加热技术基础*. 北京: 电子工业出版社, 1988, 10.
- [11] Marry M, Charlesworth D, Swires L, et al. *J Chem Soc Faraday Trans*, 1994, 90: 1999.
- [12] 张文敏, 唐业仓, 张洪涛, 等. *物理化学学报*, 1996, 12(10): 943.
- [13] Correa R, Gonzalez G, Dougar V. *Polymer*, 1998, 39: 1471.
- [14] 汤勇铮, 唐业仓, 罗时忠, 等. *物理化学学报*, 1998, 14(7): 620.
- [15] 唐业仓, 傅中, 孙益民, 等. *应用化学*, 2002, 19(10): 981.

- [16] He W D, Pan C, Lu T Y. *J Appl Polym Sci*, 2001, 80, 2455.
- [17] 包建军, 张爱民, 高分子材料科学与工程, 2002, 18(2); 78.
- [18] Zhu X L, Chen J Y, Cheng Z P, et al. *J Appl Polym Sci*, 2003, 89, 28.
- [19] Zhu X L, Chen J Y, Zhou N C, et al. *Eur Polym J*, 2003, 39, 1187.
- [20] 路建美, 朱秀林, 顾梅, 等. 高分子材料科学与工程, 1996, 12(4); 54.
- [21] 路建美, 陈乃勇, 丁梅香, 等. 高校化学工程学报, 2001, 15(3); 295.
- [22] 顾梅, 朱秀林, 路建美, 等. 高分子材料科学与工程, 1997, 13(5); 36.
- [23] Shadpour E, Mallakapour, Abdol-Reza H, et al. *J Appl Polym Sci*, 2000, 77, 3003.
- [24] Shadpour E, Mallakapour, Abdol-Reza H, et al. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2000, 38, 1154.
- [25] Shadpour E, Mallakapour, Abdol-Reza H, et al. *Eur Polym J*, 2001, 37, 119.
- [26] Chia H L, Jacob J, Boey F Y C. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 1996, 34, 2087.
- [27] Jacob J, Chia H L, Boey F Y C. *J Appl Polym Sci*, 1997, 63, 787.
- [28] 李杰, 赵建青, 沈家瑞. 高分子材料科学与工程, 1999, 15(2); 1.
- [29] Chen Y, Wang J X, Zheng D Z, et al. *Polymer*, 2000, 41, 7877.
- [30] Fang X M, Hutcheon R, Scola D A, et al. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2000, 38, 1379.
- [31] Yu Z J, Liu L J, Zhou R X. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2003, 41, 13.
- [32] Chen J N, Chen Q M. *J Appl Polym Sci*, 1996, 62, 2135.
- [33] Lu J M, Zhu X L, Zhu J, et al. *J Appl Polym Sci*, 1997, 66, 129.
- [34] Frederick K, Mallon W, Hamon R. *J Appl Polym Sci*, 1998, 69, 1203.
- [35] Zhu X L, Zhou N C, He X M, et al. *J Appl Polym Sci*, 2003, 88, 1787.
- [36] Cheng Z P, Zhu X L, Chen G J, et al. *J Polym Sci, Part A: Polym Chem*, 2002, 40, 3823.
- [37] Cheng Z P, Zhu X L, Chen M, et al. *Polymer* 2003, 44, 2243.
- [38] Cheng Z P, Zhu X L, Zheng L F, et al. *Polymer Bulletin*, 2003, 49, 363.
- [39] Lu J M, Ji S J, Wu J F, et al. *J Macromol Sci Pure*, 2002, 39, 351.

Development of Studies on Polymerization by Microwave Irradiation

YI Chang-feng, DENG Zi-wei, XU Zu-shun

(*Faculty of Chemistry and Material Science, Hubei University, Wuhan 430062, China*)

Abstract: Microwave irradiation is used in the polymerization as a novel and effective way of heating. Microwave irradiation, which is compared with the traditional heating method, has the advantages of short time, low energy consumptions and high product yield. In recent years, applications of microwave irradiation in many chemical fields have been reported. This paper reviews that microwave irradiation has been applied in polymerization including emulsion polymerization, solution polymerization and bulk polymerization. The differences between the microwave irradiation polymerization and the normal heated polymerization have been discussed.

Key words: Microwave irradiation; Polymerization; Polymers; Application