

聚合物拓扑结构的分类及正名探讨

凌 君*, 李 瑶, 徐志康*

(教育部高分子合成与功能构造重点实验室 浙江大学高分子科学与工程学系, 杭州 310027)

摘要:聚合物的拓扑结构具有多样性, 主要包括有线形、环形、星形、梯形、H 形、接枝以及超支化等。本文首先梳理了聚合物拓扑结构的分类, 例举了各拓扑结构聚合物的简单示意图, 介绍了柱状聚合物刷和梳形聚合物之间的异同。随后对于高分子专业名词中的“形”、“型”和“性”三个字的用法以及“枝”和“支”两个字的用法进行了辨析, 指出了教科书和文献中一些错用的例子。希望通过这篇文章能够引起更多科研工作者和学生们对正确使用和辨析这些相近的字词的重视, 促进中文高分子专业术语的规范化。

关键词:拓扑结构; 中文高分子专业词汇; 高分子教育

引言

聚合物由许多小分子重复单元构成, 小分子单元之间不同的连接方式导致聚合物拓扑结构的变化。聚合物的拓扑结构除了线形外, 还包括很多各异的形态, 例如, 线形结构聚合物可以通过首尾相连而得到环形结构的聚合物; 一个中心连接上不少于三条线形高分子链可以得到星形结构的聚合物; 高度支化的链可以形成超支化结构。新结构的聚合物仍在不断涌现, 其拓扑结构家庭也在不断地丰富壮大。目前的高分子教科书对这部分内容涉及不多, 本文将对其作个简单归纳。

1 聚合物拓扑结构的分类

聚合物拓扑结构是指聚合物中各重复单元之间的连接方式, 主要包括线形、环形、星形、接枝、超支化、梯形、体形等几种, 如图 1 所示。表 1 例举了各种聚合物拓扑结构形态的简单示意图。

聚合物的线形结构主要包括均聚、嵌段、交替、梯度、无规以及固定序列这几种结构类型。嵌段线形聚合物是“由两种或多种链段组成的线形聚合物”^[1]。它包括多嵌段线形聚合物, 其中各链段可以各不相同, 也可以只有两种链段交替排列。交替结构指两种重复结构单元的相间排列方式。固定序列指的是通过精密聚合方法合成序列可控的聚合物^[2~4]。环形聚合物通过聚合链首尾相连形成环状, 包括单环、8 形环、 θ 形环和手铐形环这四种基本类型, 其它一些复杂环形聚合物都可由这四种基本类型组合而成。星形聚合物是在同一个中心上连接有三条或三条以上的线形聚合物, 可分为多臂星形聚合物和杂臂星形聚合物两种, 后者具有三条以上的重复单元不同的单链。星形聚合物中每个臂(线形链)又可包含线形结构的几种类型, 因此还可以发展出嵌段多臂星形、无规多臂星形等组合。其它拓扑结构中每个链情况类似, 不再赘述。

接枝聚合物通过两种或多种单体经过接枝聚合而成, 主链由一种重复结构单元组成, 另一种重复单

10.14028/j.cnki.1003-3726.2015.08.014

收稿: 2014-10-09; 修回: 2014-12-18;

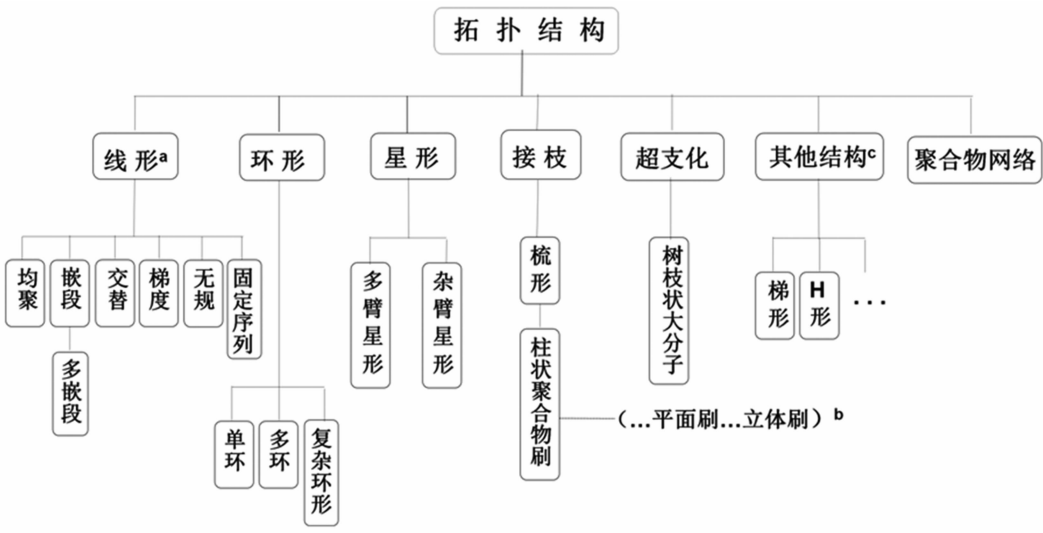
基金项目: 本研究受国家自然科学基金项目(21374093)资助;

作者简介: 凌君(1975—), 男, 副教授, 从事稀土催化开环聚合和分子模拟研究; 徐志康(1963—), 男, 教授, 长期从事高分子化学教学以及聚合物分离膜材料的基础与应用基础研究;

* 通讯联系人, E-mail: lingjun@zju.edu.cn; xuzk@zju.edu.cn.

元组成的分子链以支链的形式连接在主链上^[5]。其中比较特殊的一种结构类型是梳形聚合物,其结构中相邻支链之间的距离相等,且支链长度相同,形状类似于梳子。柱状聚合物刷(cylindrical polymer brush)可归属于梳形结构中的特例,是一种侧链密度足够高以至于主链能充分伸展的梳形聚合物^[6,7]。柱状聚合物刷也常被称为分子聚合物刷(molecular polymer brush)和瓶刷状聚合物(bottle-brush polymer)。与柱状聚合物刷类似的还有平面聚合物刷和立体聚合物刷,它们的支链分别键接在平面和三维粒子表面而形成,并非单个聚合物,不属于聚合物拓扑结构分类,只是由于名称类似而常被误解,在这里特别说明。值得注意的是,由两种不同性质且不同长度支链高密度键接在一个主链上,被称为两性柱状聚合物刷,不宜归类于梳形聚合物。因此,柱状聚合物刷和梳形聚合物还是有一定差别。

超支化聚合物具有高度支化的结构。其中树枝状聚合物是超支化聚合物中的一个特例,具有高度的均一性和对称性,它通过支化单元逐步重复的反应得到,分子体积、形状和功能基团数量都可以精确控制,分布具有单分散性^[8]。体形聚合物,也称为聚合物交联网络,通过线形高分子链上存在的可相互作用的官能团交联得到,也可以看作超支化聚合物之间交联的产物。表 2 还包括了几种复杂拓扑结构聚合物,例如,梯形聚合物是指由不间断的环组成,并且相邻的环均含有两个以上共同原子的大分子^[9]。由于合成和表征难度高,它们的研究尚少。



^a其它拓扑结构中出现的每一条线形链段同样可以包含线形聚合物结构分类中的几种类型。^b与柱状聚合物刷类似的还有平面聚合物刷和立体聚合物刷两种,但是这两种聚合物刷不属于单分子拓扑结构。^c其它结构中包括有梯形、H 形以及其它更复杂的拓扑结构。

图 1 聚合物拓扑结构的分类

Figure 1 The catalogues of polymer topologies

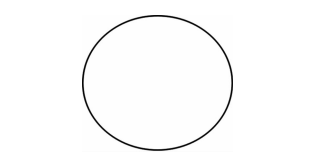
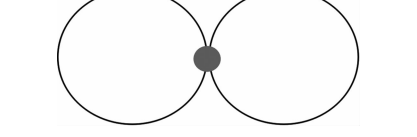
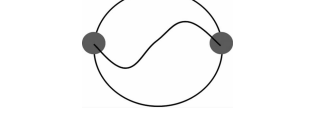
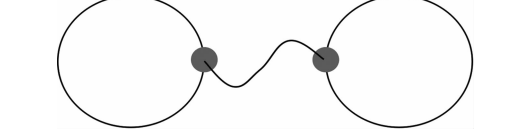
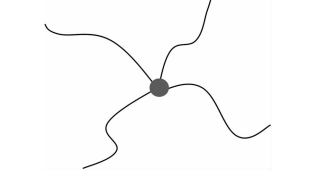
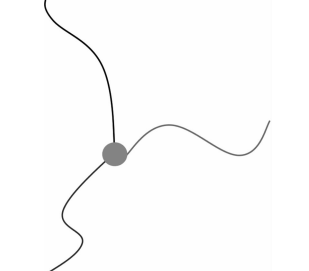
2 聚合物拓扑结构的正名

由于许多的专业名词都是从外文翻译过来的,而汉字中又存在着许多发音相同但意思不同的同音字,所以专业术语中汉字错用的情况非常常见。本文尝试澄清“形”、“型”和“性”三个字以及“枝”和“支”两个字的用法,希望以此为例引起高分子专业研究者和学生们注意,促进高分子专业名词中文规范化。

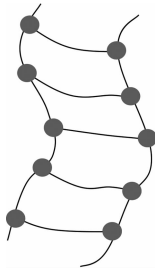
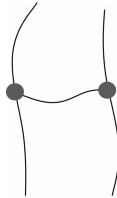
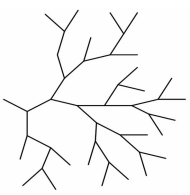
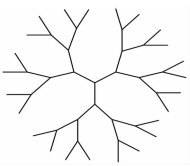
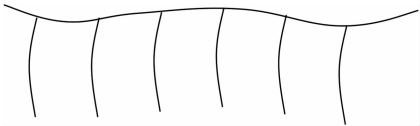
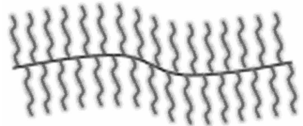
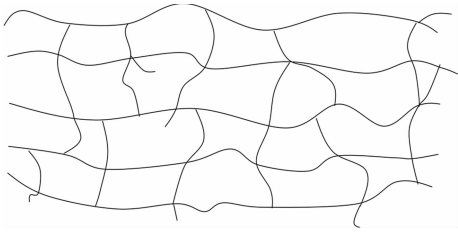
2.1 “形”、“型”、“性”

对于“形”、“型”和“性”三个字的用法,作者浏览了一些中文文献后发现三者的混用现象非常严重。《新华字典》(第 11 版)对于“形”字的解释是“样子”,“型”字的解释是“样式”,而“性”字的解释是“事物本身所具有的性质和性能”。以“线形”、“线型”和“线性”用法为例,《现代汉语规范词典》(第 2 版)对“线形”

表 1 部分聚合物拓扑结构形态示意
Table 1 Illustration of some polymer topologies

聚合物结构	英文名称	结构形态
均聚物	homopolymer	
双嵌段共聚物	diblock co-polymer	
三嵌段共聚物	triblock ter-polymer	
多嵌段共聚物	multiblock polymer	
交替共聚物	alternating copolymer	
梯度共聚物	gradient copolymer	
无规共聚物	random copolymer	
单环	single ring	
8 形环	8-shaped ring	
θ 形环	θ-shaped ring	
手铐形环	manacle-shaped ring	
多臂星形	multiarm star	
杂臂星形	miktoarm star	

续表 1

聚合物结构	英文名称	结构形态
梯形	ladder-shaped	
H 形	H-shaped	
超支化	hyperbranched	
树枝状聚合物	dendrimer	
接枝聚合物	graft polymer	
梳形	comb-like	
柱状聚合物刷	cylindrical polymer brush	
聚合物网络	polymer network	

的解释是“像线一样的形状”，“线型”是“线的类型和型号”，“线性”是“指各部分在时间和空间上都不重复而先后有序地排列的特性”。

由此,理解“线形”指聚合物链的形状像线一样,重点在于形状,可以认为“线形聚合物”应该是正确的用法。类推可以得出,“体形聚合物”、“星形聚合物”等也都正确。一些现行教科书中存在较多误用,例如,“线型大分子”^[10]、“线型聚合物”^[9,11]、“体型聚合物”^[10,11]。潘祖仁编写的《高分子化学》第二版^[12]中同样也出现了“线型大分子”、“体型大分子”以及“支链型大分子”等用法,但在之后的第四版^[1]中已更正为“线形大分子”、“体形大分子”以及“支链形大分子”。另外,《化学辞典》^[13]中使用“线型高分子”也是不正确的用法。

另一个普遍存在的情况是把“线型缩聚”和“体型缩聚”错写为“线形缩聚”和“体形缩聚”。我们认为这两个词区分的是缩合聚合的类型(聚合方式)而不是聚合物的形状,用于区别参与聚合反应的单体是几个官能度之间的缩聚,所以应该是“型”而不是“形”。一些现行的教科书中同样也存在较多不正确的用法,例如,“线形逐步聚合”^[5,9]、“体形缩聚”^[5,14]。在潘祖仁编写的《高分子化学》第二版^[12]中用的是“线型缩聚”和“体型缩聚”的正确用法,但是之后在《高分子化学》第四版^[1]中却将其错改成了“线形缩聚”和“体形缩聚”。

还有一个名词存在着“形”、“型”和“性”三个字的混用情况是“线性低密度聚乙烯”(LLDPE)。这里的含义是指乙烯单体聚合时按照先后有序地线性排列下去,重点表示的是 LLDPE 本身的一种特性,所以按照此时的语境,使用“线性低密度聚乙烯”更为恰当些。在一些现行的教科书中也存在着不正确的用法,例如,“线形低密度聚乙烯”^[9,14]、“高密度线型聚乙烯”^[11]。《化学辞典》^[13]中也使用不正确的“线型低密度聚乙烯”。

2.2 “枝”和“支”

《新华字典》第 11 版中对于“枝”字的解释是“由植物的主干上分出来的茎条”,对“支”字的解释是“分支的,附属于总体的”。作者认为“接枝聚合物”是借用了植物学中“接枝”的含义,即在植物枝条上进行嫁接,类比这里是“在主链上接上分支链段”的意思,所以应该是“枝”而不是“支”。相反的,“超支化”意思是在一个支点分出多条链,重点是指“支点、分支”这种状态,所以更恰当的是用“支”而不是“枝”。关于这两个字的区分,在教科书中并没有发现误用现象,但是在已发表的一些中文文献中还是有不少错误^[15~20]。

3 总结

本文总结了聚合物的拓扑结构并对其进行了分类,列出了一些聚合物结构的形态特征。辨析了高分子专业名词的中“形”、“型”和“性”三个字的用法以及“枝”和“支”两个字的用法。

通过本文,作者希望能够引起更多科研工作者关注,尤其在本科生《高分子化学》教学中注意,让更多学生注意正确使用专业术语用字,促进中文文献中高分子专业术语规范化,并且及时让一些教科书及文献中涉及到的不恰当的用法得到修正和统一。

参考文献:

- [1] 潘祖仁. 高分子化学(第四版). 北京:化学工业出版社, 2007.
- [2] Zhang C Y, Ling J, Wang Q. *Macromolecules*, 2011, 44: 8739~8743.
- [3] Li Z L, Li L, Deng X X, Zhang L J, Dong B T, Du F S, Li Z C. *Macromolecules*, 2012, 45: 4590~4598.
- [4] Wang C H, Song Z Y, Deng X X, Zhang L J, Du F S, Li Z C. *Macromol Rapid Commun*, 2014, 35: 474~478.
- [5] 唐黎明, 庾新林. 高分子化学. 北京:清华大学出版社, 2009.
- [6] Zhang M F, Müller A H E. *J Polym Sci Part A: Polym Chem*, 2005, 43(16): 3461~3481.
- [7] Zheng Z C, Müllner M, Ling J, Müller A H E. *ACS Nano*, 2013, 7(3): 2284~2291.
- [8] 陈永明, 陈传福, 习复. 化学通报, 1995, 10: 1~10.
- [9] 卢江, 梁晖. 高分子化学. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [10] 王槐三, 王亚宁, 寇晓康. 高分子化学教程(第三版). 北京:科学出版社, 2011.
- [11] 潘才元. 高分子化学. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2012.

- [12] 潘祖仁. 高分子化学(第二版). 北京:化学工业出版社, 1997.
- [13] 王箴. 化工辞典(第四版). 北京:化学工业出版社, 2000.
- [14] 张兴英, 程珏, 赵京波, 鲁建民. 高分子化学. 北京:化学工业出版社, 2012.
- [15] 刘勇, 金玉子. 高分子通报, 2009, (6): 59~67.
- [16] 洪啸吟, 肖善强, 陈其道, 刘洪文, 陈晶, 李文涛, 陈明, 陈琳. 高分子学报, 2002, (3): 265~270.
- [17] 法文君, 笄菱, 龚楚清, 钟家桢. 化学进展, 2008, 20(1): 19~25.
- [18] 徐源鸿, 熊兴泉, 蔡雷, 唐忠科, 叶章基. 化学进展, 2012, 24(2/3): 385~394.
- [19] 赵峰, 钱新明, 汪尔康, 董绍俊. 化学进展, 2002, 14(5): 374~383.
- [20] 严思明, 何佳, 张晓蕾, 高金. 化学中间体, 2013, (5): 49~53.

Classification and Terminology of Polymer Topologies

LING Jun*, LI Yao, XU Zhi-kang*

(MOE Key Laboratory of Macromolecular Synthesis and Functionalization, Department of Polymer Science & Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Polymer topologies include linear, cyclic, star-shaped, ladder-shaped, H-shaped, grafting, and hyperbranched. This article classifies various polymer topologies with illustration of every catalogue. The difference between cylindrical polymer brush and comb-like polymer is also involved. Some Chinese characters are easy to be confused when used in the terms of polymer science. For instance, three Chinese characters, “形”, “型” and “性” are similarly pronounced and sometimes incorrectly used in terms. Another typical example is “枝” and “支”. We intend to distinguish them in this article and correct inappropriate usage in textbooks and literatures. We encourage more teachers, researchers and students to pay attention to the discussion on correcting Chinese terms in polymer science. It will also benefit the development of polymer terminology.

Key words: Polymer topologies; Polymer terms in Chinese; Polymer education