

水溶性聚电解质-表面活性剂复合物的聚集行为*

任碧野 高峰 童真

(华南理工大学材料科学研究所, 广州, 510641)

提要 聚电解质在溶液中与相反电荷的表面活性剂通过静电作用与疏水作用可形成聚电解质-表面活性剂复合物, 依据反应条件生成的复合物可以是水溶性的也可以是非水溶性的。水溶性的聚电解质-表面活性剂复合物由于有许多工业应用, 因此近几十年来水溶性聚电解质-表面活性剂复合物的形成和结构已受到人们的广泛重视。本文对水溶性聚电解质-表面活性剂复合物的聚集过程、聚集结构作了简要概述, 此外对荧光光谱在这一领域的应用进行了重点介绍。

关键词 聚电解质-表面活性剂复合物, 聚集, 荧光光谱

一定条件下聚电解质在水溶液中与相反电荷的表面活性剂作用可生成聚电解质-表面活性剂复合物 (polyelectrolyte-surfactant complexes, PE-Surfs)。水溶性的 PE-Surfs 或者称为聚电解质-表面活性剂聚集体 (polyelectrolyte-surfactant aggregates, PE-SA) 在石油开采、制浆造纸、日用化工、废水处理等领域有广泛的应用, 天然多糖与相反电荷的表面活性剂的相互作用可用于多糖的提纯^[1], 理论上也可作为生物模型用于研究蛋白质、多糖等天然高分子与小分子的相互作用^[2]。此外, 表面活性剂在聚电解质水溶液中的聚集行为与表面活性剂在溶液中的胶束化有何区别和内在联系, 表面活性剂的聚集对聚电解质的溶液行为有何影响等都是人们感兴趣的问题。因此, 近十几年来人们应用多种实验手段如染料增溶、表面张力、CD、NMR、电导及电位滴定等对许多聚电解质-表面活性剂体系的相互作用进行了研究^[3]。70年代 Schwarz^[4]及 Satake 和 Yang^[5]提出了表面活性剂协同键合 (cooperative binding) 的点键合 (site binding) 模型。即荷电基团在聚电解质链上呈一维连续分布, 表面活性剂通过近邻键合的方式沿聚电解质链聚集成类胶束簇 (micelle-like clusters)。80年代以来, 由于表面活性剂离子选择电极的广泛应用^[7,8], 特别是近几

年来, 基于苾探针及苾标记的聚电解质的荧光光谱如荧光猝灭^[9,10]、荧光偏振^[10]、激发态的形成^[12]、非辐射能量转移^[13]、发射光谱的介质敏感性^[9,10,11]等已被广泛用于研究聚电解质-表面活性剂的相互作用, 大大促进了这一领域的发展。本文就水溶性 PE-Surfs 的聚集行为和荧光光谱在这一领域的应用作一概述。

1 水溶性聚电解质-表面活性剂复合物的聚集过程

1.1 聚集过程与机理

聚电解质 (PE) 是分子链上含有大量可电离基团的高分子, 在水溶液中可电离为聚离子和反离子。如果向 PE 稀溶液中加入带有与聚离子相反电荷的表面活性剂 (SA), 当 SA 的浓度超过某一值时, 由于 PE 与 SA 之间的静电作用以及 SA 之间的疏水相互作用, SA 将开始沿 PE 链聚集, 这一浓度称为 SA 的临界聚集浓度



任碧野 男, 1965年生, 讲师。1992年毕业于重庆大学化学化工学院, 获物理化学专业理学硕士学位。同年入岳阳大学化工系工作, 曾参与两项湖南省教委自然科学基金资助项目的研究工作。现为华南理工大学高分子材料专业 96 级博士研究生, 研究方向为高分子物理化学及功能高分子材料。已在各种公开刊物发表论文 18 篇。

* 国家教委“跨世纪优秀人才”基金资助项目。

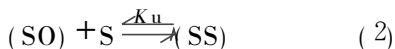
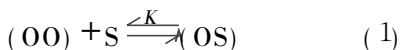
PE 链聚集,这一浓度称为 SA 的临界聚集浓度(cac)。依据 PE 的电荷密度、化学结构、SA 的几何尺寸和形状以及两者的化学计量比等,SA 与 PE 相互作用可形成 3 种不同性质的 PE-Surfs:

(1) 水溶性的 PE-Surfs,体系是由水溶性的小的 PE-SA 构成的宏观均相体系,PE-SA 的化学计量比[SA]/[PE]通常不超过 0.3~0.5;

(2) 液/液两相平衡体系,即由一个浓的 PE-SA 相和一个稀的 PE-SA 相组成的相平衡体系;

(3) 固/液两相体系,即由水溶性的 PE-Surfs 构成的上清液和化学计量比为 1:1 的 PE-Surfs 沉淀组成。由于 cac 非常低,即使在非常稀的浓度范围,当 SA 与 PE 的化学计量比为 1:1 时,由于 SA 的聚集使 PE 的电性被中和以及 SA 的疏水作用,体系将出现沉淀,因此必须严格控制两者的浓度和化学计量比。

一般认为 SA 在 PE 稀溶液中的聚集由起始过程和增长过程构成^[14]。首先是一个 SA 分子通过静电及吸附作用与 PE 链的离子键合,然后其余 SA 分子通过疏水作用沿 PE 链近邻键合,该过程是高度协同的,可用如下两个化学平衡表示:



式中 O 代表 PE 链上一个未键合点, S 代表一个已键合点。K 是一个 SA 分子和一个孤立键合点之间的本征键合常数,反映了静电作用和优先吸附作用的影响。Ku 是一个 SA 分子和一个邻位已被其余 SA 分子键合的键合点之间的键合常数,反映了静电和疏水作用的影响。u 为表征 SA 协同键合能力的参数即协同参数(cooperative parameter), u = 1 代表非协同或 Langmuir 型键合,若 u > 1 则代表一种协同键合方式。按照 Satake-Yang 的模型可得如下关系^[5]:

$$\beta = \{1 + (KuCs - 1) / [(1 - KuCs)^2 + 4KC_s]^{1/2}\} / 2 \quad (3)$$

$$Ku = 1 / (Cs)^{0.5} \quad (4)$$

$$(d\beta / d\ln Cs)^{0.5} = u^{1/2} / 4 \quad (5)$$

$$m = 2\beta(u - 1) / \{[4\beta(1 - \beta)(u - 1) + 1]^{1/2} - 1\} \quad (6)$$

式中 β 为键合度,指键合的 SA 的摩尔数与 PE 的荷电基团的摩尔数之比, $(Cs)^{0.5}$ 指 $\beta = 0.5$ 时溶液中尚未键合的 SA 的浓度(C_s)。m 为聚集数,指每个簇内平均含有的 SA 的分子数,将 β 与 C_s 或 $\ln C_s$ 作图可得到键合等温线(binding isotherm),可进一步得到上述各参数值。

1.2 临界聚集浓度的测定

cac 可以通过(1) 芘的发射光谱精细结构的第一和第三发射峰的荧光强度之比 I_1/I_3 ^[10], (2) 芘标记的 PE 的激发态发射与单体态发射的荧光强度之比 I_e/I_m ^[12]以及(3) 芘与其他能量给体之间的非辐射能量转移(NRET)^[12]等随 SA 浓度发生突变来进行测定。因为芘有较长的荧光寿命,较易形成激发态,可作为 NRET 的能量受体等特点,因而应用最为频繁^[15]。芘的 I_1/I_3 对环境的极性十分敏感,随环境极性的减小而减小^[16]。例如在水中 I_1/I_3 为 1.9,在非极性溶剂如己烷中为 0.6。

Chu 和 Thomas^[10]以芘为荧光探针研究了癸基三甲基溴化铵(DeTAB)在聚甲基丙烯酸(PMA)稀溶液(pH=8,浓度为 1g/L)中的聚集过程,发现芘的 I_1/I_3 随 DeTAB 的浓度发生突变,然后在某一浓度(3×10^{-3} mol/L)以后保持相对稳定(~ 1.4),表明键合的 DeTAB 在 PE 链上发生聚集,芘从水相迁移到 DeTAB 形成的疏水微区,这一浓度即为 cac(相应的临界胶束浓度 cmc 为 6.5×10^{-2} mol/L)。

对于芘标记的高分子往往由于芘发生基态聚集,导致静态激发态(static excimer)的形成,发射光谱在(480~500) nm 出现宽的激发态发射,在(380~400) nm 出现单体态发射,因此利用 I_e/I_m 可探测大分子的构象以及芘所处的位置^[15]。Turro 和 Arora^[2]将丙烯酸与 2-[4-(1-芘基)丁酰]胺基丙烯酸共聚得到芘标记的聚丙烯酸(py-PAA),发射光谱显示激发态的形成,时

间分辨荧光光谱证实为静态激发态。Turro 等^[12]进一步研究了十二烷基三甲基溴化铵 (DoTAB) 在 py-PAA 稀溶液于不同 pH 值条件下的聚集过程,发现 I_e/I_m 随 DoTAB 的浓度的提高而增大,暗示形成的 py-PAA/DoTAB 逐渐卷曲。 I_e/I_m 在 cac 时达到最大值然后减小。这是因为 DoTAB 沿 py-PAA 聚集成簇后,芘被“增溶”到 DoTAB 形成的疏水微区,芘的基态聚集被解聚,因而 I_e/I_m 减小。

Ochiai 等^[13]利用 2-萘基磺酸根离子 (2-NpS^{-1}) 与 1-芘基磺酸根离子 (1-PyS^{-1}) 之间的 NRET 研究了 1-辛基硫酸钠 (NaOcS) 在聚烯丙基氯化铵 (PAAHCl) 阳离子 PE 稀溶液中的聚集过程。结果显示 NaOcS 在一定浓度范围内, 1-PyS^{-1} 在 396nm 与 2-NpS^{-1} 在 340nm 的荧光强度之比 ($I_{\text{py}}/I_{\text{Np}}$) 保持不变,当 NaOcS 达到 cac 时,由于 1-PgS^{-1} 与 2-NpS^{-1} 均从水相迁移到 NaOcS 形成的疏水微区,使 1-PyS^{-1} 与 2-NpS^{-1} 之间的能量转移效率提高, $I_{\text{py}}/I_{\text{Np}}$ 发生突跃。值得注意的是,上述 3 种方法测得的 cac 略有差异,以芘标记的 PE 测得的 cac 比用自由芘作为探针测得的 cac 略小^[12]。

1.3 聚集过程的特点

由于 PE 的化学结构、电荷密度、SA 的性质以及介质的离子强度等对 SA 的聚集过程均有一定的影响^[6~8],因此 SA 在 PE 水溶液中的聚集过程显得较为复杂,与 SA 在水溶液中的胶束化相比。两种过程既有相似之处,又有明显区别,主要表现在以下几方面。

(1) 聚集的场所不同。前者是 SA 沿 PE 链聚集成簇;后者是 SA 在溶液中聚集成胶束;

(2) 两者聚集的驱动力不完全相同。前者的驱动力来自于 SA 和 PE 之间的静电作用以及 SA 之间的疏水作用;后者的驱动力来自于 SA 之间的疏水相互作用^[14];

(3) cac 通常比 cmc 低 1~2 个数量级,说明 SA 沿 PE 链的聚集比自由 SA 的胶束化的趋势更强。Chu 和 Thomas^[10]研究了烷基三甲基溴化铵 $C_n\text{TAB}$ (n 为烷基碳数) 在 PMA 稀溶

液中的聚集行为。结果显示 cac 随 SA 烷基链长的增加而减小,而 cac 总比相应的 $C_n\text{TAB}$ 形成胶束的 cmc 低 1~2 个数量级。Choi 和 Kim^[17]也报道了类似的结果。导致 cac 比 cmc 低得多的原因,主要是聚离子与 SA 之间的静电作用。如果外加低分子电解质如 NaCl 等,由于屏蔽了 PE 和 SA 之间的静电作用, cac 将提高^[10,18,19];

(4) cac 除受表面活性剂的几何尺寸和形状影响外,还受到 PE 的性质如分子量、疏水改性度以及电荷密度等高分子效应的影响。Kim 等^[17]报道 cac 随 PE 分子量的增加而减小。Neumann 等^[20]研究了丙烯酸-甲基丙烯酸乙酯共聚物中甲基丙烯酸乙酯(疏水部分)的含量对 cac 的影响。他们发现随共聚物疏水改性度的提高, cac 下降,说明疏水改性有利于 SA 的聚集。这可能是 SA 在聚集前与 PE 的疏水链段业已形成的疏水微区形成预胶束,然后优先在这些微区附近的键合点发生聚集。业已通过改变溶液 pH 值的方法研究了羧酸类 PE 的电荷密度对 cac 的影响^[10,12,17]。Turro 等^[12]报道 cac 与溶液的 pH 值或 py-PAA 的中和度有关, cac 随溶液 pH 值的减小而降低,因此 cac 反映了 py-PAA 在不同条件下的构象。但由于很难将电荷密度与 PE 的疏水性、分子构象等因素的影响区别开来,因此目前 PE 的电荷密度对 cac 的影响尚未取得一致的结果。此外 SA 与 PE 的疏水骨架之间以及聚离子附近由 SA 疏水基和水分子组成的局部微环境里的聚离子-反离子-溶剂相互作用对 PE-SA 的聚集过程也有一定的影响^[21]。

2 水溶性聚电解质-表面活性剂复合物的聚集结构

水溶性的 PE-Surfs 或 PE-SA 的聚集结构归纳起来有以下特点。

(1) SA 沿 PE 链聚集成一定大小、形状和组成的胶束状的簇,簇沿 PE 链无规分布形成“串

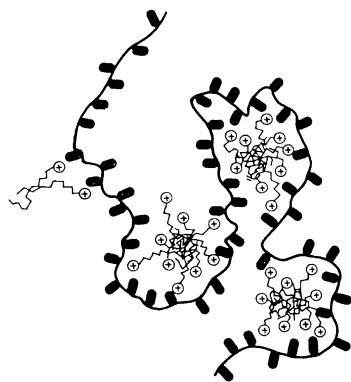


图1 PE-SA 的聚集结构示意图

珠"状^[10], PE 链处于簇内 SA 头基的界面^[21], 与此同时 PE 链发生卷曲^[9,10,19](图1)。簇的大小可用聚集数来表示, 可通过荧光猝灭包括稳态荧光猝灭(SSFQ)和时间分辨荧光猝灭(TRFQ)来测定^[9~12]。一般来说, SA 的聚集数不仅受正常的堆积因素的影响, 而且还受到胶束表面(Stern层)吸引力和排斥力的影响。而 PE-SA 的聚集数除受堆积因素和 SA 的性质影响外, 还受 PE 的化学结构、链构象、链的疏水性、电荷密度等高分子效应以及离子强度等因素的影响^[11,18~20], 情况较为复杂。与 Satake-Yang 理论模型^[5]不尽一致的是, 当 SA 在 PE 链上聚集成簇以后, 聚集数不随 β 的提高而增加^[20,23]。Almgren 等^[22]研究了聚苯乙烯磺酸钠(PSS)-DoTAB 以及 PSS-CTAB(十六烷基三甲基溴化铵)聚集体聚集数与 β 的关系, 当 β 从 0.25 提高到 0.53 时, 聚集数几乎没有变化。另外, Hansson 和 Almgren^[19]也发现对 NaPA-DoTAB 聚集体当 β 分别为 0.5 和 0.66 时, 聚集数也几乎没有变化。以上结果表明, 随 β 的提高或 SA 的浓度的提高, SA 沿 PE 链形成一定大小、形状和组成的新的聚集体^[11,22]。Abuin 和 Scaiano^[9]把这种聚集结构称为"聚集体的聚集"("aggregate of aggregates")。伴随 SA 在 PE 链上成簇, 由于 PE 的有效电荷密度下降以及 SA 的疏水作用, PE 链将从伸展的构象态逐渐向卷曲的构象态转变, 其流体力学体积减小。因此, PE-SA 稀溶液

的比浓粘度 η_{sp}/c 随 SA 浓度的增加而减小^[9,10]。疏水改性的 PE 的稀溶液粘度随 SA 浓度的变化出现极大值, 这可能是 PE 的疏水链段与 SA 形成混合聚集, 同一簇内不同 PE 的疏水链段起物理交联作用。粘度最大值对应于最大的交联, 此时, PE 相当于链间混合聚集(interchain mixed aggregate), 随 SA 浓度的进一步增加, 链间聚集程度减小, 最后粘度出现极小值, 对应于链内基本聚集(intrachain basic aggregate), 即簇内仅含有同一 PE 的疏水链段^[23]。而自由 SA 在溶液中往往聚集成球型胶束, 当 SA 在浓度超过 cmc 很多时, 原来的球型胶束将开始变成桶球状, 进而以圆柱状聚集^[24];

(2) PE-SA 中的类胶束簇与 SA 胶束有相似的疏水性。疏水性可用芘的 I_1/I_3 来比较^[16]。芘在 PE-SA 中的 I_1/I_3 通常比在相应 SA 的自由胶束中的 I_1/I_3 略小或相等。例如芘在 DoTAB 胶束中 I_1/I_3 为 1.2, 当 DoTAB 在 PSS 溶液中聚集成簇以后, 芘的 I_1/I_3 变为 1.15^[9], 说明芘在 PSS-DoTAB 聚集体中处于比 DoTAB 自由胶束略为疏水的环境。此外, PE-SA 的疏水性随 PE 的疏水改性度的提高或 SA 疏水链长的增加而增强^[16]。这种疏水结构对非水溶性的物质如染料等显示出很好的溶解性能^[25];

(3) SA 沿 PE 链聚集成簇大大减小了 SA 的流动性, 同时处于 SA 头基界面的高分子骨架发生缠绕使 SA 簇比自由胶束更紧密^[22], 这种微区具有比自由胶束更大的微观粘度(η)^[11]。微观粘度 η 指阻碍荧光探针分子在微观多相体系中旋转或翻转运动的粘度, 可通过荧光偏振实验测定^[26]。荧光各向异性 r 与溶剂粘度 η 和荧光寿命 τ 有如下关系:

$$1/r = 1/r_0 + kT/\eta r_0 \quad (7)$$

式中 r_0 为探针分子在刚性介质中的荧光各向异性; k 为波兹曼常数; T 为绝对温度; v 为探针分子的有效体积。因此, 通过测定探针分子在已知粘度的溶剂中的 r 和 τ 便能得到体系的微观粘度 η 。Anthony 和 Zana^[11]以二苯基己三烯为

荧光探针测定了 DoTAB 在马来酸-甲基乙烯基醚共聚物稀溶液中形成的疏水微区的 η 。结果发现聚集体系的 η 比 DoTAB 胶束的 η 大,表明 DoTAB 沿 PE 链形成了比自由胶束更紧密的微区;

(4) SA 沿 PE 链形成局部高度有序的结构。Kwak 等^[27]通过¹³C 自旋-格子弛豫时间 T_1 和核极化效应 (NOE) 研究了 DoTAB 在 PSS 稀溶液中的聚集行为,结果表明在 PE-SA 聚集体中 SA 的长链烷基的序参数比自由胶束的大。最近,Okuzaki 和 Osada 等^[28]通过超速离心分离得到了不同 β 值的含水聚 2-丙烯酸酰胺基-2-甲基丙磺酸 (PAMPS) /N-十二烷基吡啶氯 (C_{12} PyCl) 聚集体,小角 x 射线衍射 (SAXD) 显示当 $\beta=0.67$ 时(采用上述方法未能分离得到 β 低于 0.67 的样品) 出现 3 个明显的衍射峰,随 β 的提高,衍射强度略有增加。说明 SA 的头基通过静电作用沿 PE 链定向排列有利于长链尾基排列成局部高度有序的结构。

3 结语

目前,水溶性 PE-Surfs 的聚集行为仍是聚电解质溶液物理化学研究中的一个十分活跃的领域。荧光光谱的应用大大提高了人们对 SA 在 PE 稀溶液中聚集行为的认识。但由于影响聚电解质-表面活性剂相互作用的因素比较复杂,PE-SA 的聚集结构特别是对于疏水改性的 PE 体系目前仍不是很清楚,这方面的研究仍在进展中。最近,Antonietti 等^[29]报道固态 PE-Surfs 可形成局部高度有序的介晶态结构,改变 PE 与 SA 的种类和结构可制备出不同结构和性能的新型材料。具有固定双层结构的聚电解质-类脂体表面活性剂复合物 (PE-Lipids) 在电化学控制释放、光/热响应性有机薄膜、化学传感器等领域也显示出很好的应用前景^[30~32]。

4 参考文献

1 Laurent T G, Scott J E. *Nature*, 1964, 202, 661

- 2 Turro N J, Arora K S. *Polymer*, 1986, 27(5): 783~796
- 3 Goddard E D. *Colloids Surf*, 1986, 19(2~3): 301~329
- 4 Schwarz G. *Eur J Biochem*, 1970, 12(3): 442~453
- 5 Satake I, Yang J T. *Biopolymers*, 1976, 15(11): 2263~2275
- 6 Hayakawa K, Kwak J C T. *J Phys Chem*, 1982, 86(19): 3866~3870
- 7 Hayakawa K, Kwak J C T. *J Phys Chem*, 1983, 87(3): 506~509
- 8 Hayakawa K, Santerre J, Kwak J C T. *Macromolecules*, 1983, 16(10): 1642~1645
- 9 Abum E B, Scaiano J C. *J Am Chem Soc*, 1984, 106(21): 6274~6283
- 10 Chu D, Thomas J K. *J Am Chem Soc*, 1986, 108(20): 6270~6276
- 11 Anthony O, Zana R. *Langmuir*, 1996, 12(8): 1967~1975
- 12 Chandar P, Somasundaran P, Turro N J. *Macromolecules*, 1988, 21(4): 950~953
- 13 Itaya T, Ochiai H, Ueda K, et al. *Polymer*, 1994, 35(9): 2004~2006
- 14 Okuzaki H, Eguchi Y, Osada Y. *Chem Mater*, 1994, 6(10): 1651~1653
- 15 Winnik F M. *Chem Rev*, 1993, 93(2): 587~614
- 16 Kalyanasundaram K, Thomas J K. *J Am Chem Soc*, 1977, 99(7): 2039~2044
- 17 Choi L-S, Kim O-K. *Langmuir*, 1994, 10(1): 57~60
- 18 Hansson P, Almgren M. *J Phys Chem*, 1995, 99(45): 16684~16693
- 19 Hansson P, Almgren M. *J Phys Chem*, 1995, 99(45): 16694~16703
- 20 Oliveira V A D, Tiera M J, Neumann M G. *Langmuir*, 1996, 12(3): 607~612
- 21 Marjan B, Mateja M, Gorazd V. *Ber Bunsen-Ges*, 1996, 100(6): 1054~1058
- 22 Almgren M, Hansson P, Mukhtar E, et al. *Langmuir*, 1992, 8(10): 2405~2430
- 23 Magny B, Iliopoulos I, Zana R, et al. *Langmuir*, 1994, 10(9): 3180~3187
- 24 Vogtle F. 著, 张希 等译. *超分子化学*. 长春: 吉林大学出版社, 1995: 199
- 25 Hayakawa K, Shinohara S, Sasawaki S, et al. *Bull Chem Soc Jpn*, 1995, 68(8): 2179~2185
- 26 Nakashima K, Anzai T, Fujimoto Y. *Langmuir*, 1994, 10(3): 658~661
- 27 Gao Z, Washylishen R E, Kwak J C T. *J Phys Chem*, 1990, 94(2): 773~776

- 28

Okuzaki H, Osada Y. *Macromolecules*, 1995, 28(1) :380~382
- 29

Antonietti M, Burger C, Effing J. *Adv Mater*, 1995, 7(8) :751~753
- 30

Okahate Y, En-na G. *J Phys Chem*, 1988, 92(15) :4546~4551
- 31

Hayashi K, Yamafuji K, Toko K, et al. *Sensors and actuators*, 1989, 16:25~42
- 32

Nakashima N, Yamaguchi Y. *J Electroanal Chem*, 1995, 384(1~2) :187~189

Aggregation Behavior of Water-soluble Polyelectrolyte-surfactant Complexes

Ren Biye, Gao Feng, Tong Zhen
(*Research Institute of Materials Science, South China University of Technology, Guangzhou 510641*)

Summary Polyelectrolyte-surfactant complexes are formed by the electrostatic interaction of polyelectrolytes and oppositely charged surfactants as well as the hydrophobic interaction of surfactants in aqueous solution. The complexes may be water-soluble or water-insoluble, depending on the charge density, concentration and stoichiometric of ratio components, etc. The polyelectrolyte-surfactant complexes have a variety of applications. In the paper we review the literature dealing with the aggregating process and structure of the water-soluble polyelectrolyte-surfactant complex. The miscellaneous applications of fluorescence spectra to this field are also stressed in the paper.

Key words Polyelectrolyte-surfactant complexes, Aggregation, Fluorescence spectra

1998 年化学部国家基金评审结束

1998 年化学学部国家自然科学基金的评审工作于 7 月 3 日~12 日在成都四川联合大学进行, 现已评审完毕。高分子学科评审的初步结果如下:“自由申请项目”, 受理 184 项, 批准 40 项, 平均资助强度 12.2 万/3 年, 资助率 21.7%。“青年基金项目”, 受理 44 项, 批准 11 项, 平均资助强度 11.3 万/3 年, 资助率 25%。“地区基金项目”, 受理 6 项, 批准 1 项, 资助强度 10 万元/3 年, “高技术项目”, 受理 2 项, 批准 1 项, 资助强度 13.2 万元/3 年, 另评审出“杰出青年基金 A(国内学者) 候选项目 1 项;“杰出青年基金 B”(国外学者) 候选项目 1 项。

今年评审工作的特点是除坚持优选具有创新思路的项目外, 在同等情况下, 注意向 45 岁以下的青年人(仅指项目申请者) 倾斜, 因此今年高分子学科 45 岁以下青年人获资助者占全部资助项目的 45%; 另一个特点是注意在全部资助项目中, 纯基础性研究项目要有一定的比例, 这是我国高分子学科发展的需要。今年申请项目中, 申请书中反映出来的主要问题有: 1. 一些申请书没有能够体现出工作的创新之处, 因而缺乏竞争力。2. 一些申请书, 书写得太简单, 缺乏具体的工作思路, 所述工作内容也很空洞, 因而也缺乏竞争力。3. 一些申请书不注意在拟从事的工作中提炼问题, 只讲“打算做什么”, 因而显得申请书学术层次不高, 也因此而缺乏竞争力(例如研究新材料, 只讲打算如何去做此材料, 而对其中内涵的学术问题及如何开展学术研究, 却没注意叙述; 又如, 对一些高分子物理现象, 只写出打算观测哪些性质, 却未注意叙述从中研究什么具体物理问题)。

(胡汉杰)