

## HP- $\beta$ -CD 消除 SDS 对 SLDED 紫外光谱的干扰

石东坡<sup>1</sup>, 黄弘毅<sup>1</sup>, 尹先清<sup>1</sup>, 靖波<sup>2,3</sup>, 王秀军<sup>2,3</sup>, 陈文娟<sup>2,3</sup>, 李赓<sup>1</sup>

1. 长江大学化学与环境工程学院, 湖北荆州 434023

2. 海洋石油高效开发国家重点实验, 北京 100027

3. 中海油研究总院, 北京 100027

**摘要** 采用紫外吸收光谱法检测十二烷基二苯醚二磺酸钠(SLDED)与十二烷基磺酸钠(SDS)二元复合体系中 SLDED 的含量。结果表明, 在复合溶液中 SDS 能增强 SLDED 的吸光度, 加入  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  复合组分 SDS 后,  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 的吸光度由 0.631 增加至 0.682, 增幅达 8.1%; 同时 SDS 还可以明显降低 SLDED 在水溶液中的表观临界胶束浓度(*cmc*), 当 SDS 的浓度从 0 增加至  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, SLDED 的表观 *cmc* 由  $1.12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  降低至  $0.702 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。研究结果还表明, 羟丙基- $\beta$ -环糊精(HP- $\beta$ -CD)能有效消除 SDS 对 SLDED 紫外光谱的干扰, 加入  $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  HP- $\beta$ -CD 后,  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 与  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS/ $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 复合溶液在 281 nm 处的吸光度分别为 0.796 和 0.798, 相差仅 0.3%, 远低于不添加 HP- $\beta$ -CD 时的增幅。在 SLDED/SDS 复合溶液中, SLDED 形成胶束的标准摩尔吉布斯函数变  $\Delta_r G_m^\ominus$  随 HP- $\beta$ -CD 浓度的增大而增加, 当 HP- $\beta$ -CD 浓度由 0 分别增加至 0.400, 0.800 及  $1.200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, SLDED 形成胶束过程的  $\Delta_r G_m^\ominus$  由  $-41.098 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  分别增大至  $-39.833$ ,  $-39.488$  和  $-38.184 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 表明了相比于形成胶束结构, SLDED 分子优先选择与 HP- $\beta$ -CD 形成包合物。Job's 实验表明 SLDED/HP- $\beta$ -CD 包合物中 SLDED 与 HP- $\beta$ -CD 按物质的量比 1:2 进行包结。按包结比 1:2 加入 HP- $\beta$ -CD 后, 紫外光谱法能够准确检测 SLDED/SDS 复合水溶液中 SLDED 的含量, 方法的回收率为 100.8%~101.4%。FTIR 及 <sup>1</sup>H-NMR 表征表明, SLDED 分子进入 HP- $\beta$ -CD 分子空腔并形成了包合物, 是 HP- $\beta$ -CD 消除 SDS 干扰的本因。

**关键词** 十二烷基二苯醚二磺酸钠; 羟丙基- $\beta$ -环糊精; 胶束; 紫外光谱

**中图分类号:** O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)06-1812-05

## 引言

三元复合驱技术属油田开发的关键技术, 强化三元复合驱技术将为我国的油气田开发提供持续的创新动力<sup>[1-2]</sup>。十二烷基二苯醚二磺酸钠(SLDED)是三元复合驱最常用的阴离子表面活性剂之一, 准确检测三元复合驱溶液中 SLDED 的含量, 是了解 SLDED 在地层孔隙间的吸附性能及评价复合驱效率的基本途径。SLDED 分子含有独特的双磺酸盐基团, 可在分子内产生超共轭效应, 一般具有良好的表面活性。在三元复合驱过程中, SLDED 还通常与其他表面活性剂等复配形成表面活性更佳的复合驱体系, 以进一步提高 SLDED 的复合驱效率。

目前检测磺酸盐类表面活性剂的方法主要有光谱法、色谱法、界面张力法等<sup>[3-7]</sup>, 可是已有研究表明, 复合驱体系中 SLDED 与其他组分(特别是表面活性剂组分)之间的协同干扰作用及混合胶束化作用<sup>[8-9]</sup>, 致使光谱法、色谱法、界面张力法等均难以准确测定复合驱体系中的 SLDED。鉴于此, 本文以复配组分为十二烷基磺酸钠(SDS)表面活性剂为例, 采用羟丙基- $\beta$ -环糊精(HP- $\beta$ -CD)包络 SLDED, 通过 HP- $\beta$ -CD 的包结作用一方面“阻断”SDS 与 SLDED 之间的相互作用, 另一方面“阻止”SLDED 分子聚团形成混合胶束<sup>[10-11]</sup>, 同时降低相互协同作用干扰以及混合胶束化行为对检测产生的影响。与当前的检测方法相比, 本方法能准确检测三元复合驱体系中的 SLDED, 回收率可达 100.8%~101.4%。

收稿日期: 2018-05-24, 修订日期: 2018-10-30

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05025-003), 国家自然科学基金项目(41202111)和长江大学长江人才计划项目(2016cqr03)资助

作者简介: 石东坡, 1981年生, 长江大学化学与环境工程学院教授 e-mail: shidongpo2006@126.com

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

SLDED, AR, 广东翁江化学试剂有限公司; SDS, AR, 江苏聚成精细化工有限公司; HP- $\beta$ -CD, 国药集团化学试剂有限公司; Bruker-500 核磁共振谱仪 ( $D_2O$  作为溶剂), 瑞士 Bruker 公司; NICOLET 6700 型红外光谱仪, Thermo Scientific; TU-1810 型紫外-可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 方法

采用紫外光谱法分析 SDS 对 SLDED 紫外吸光度及表观临界胶束浓度 ( $cmc$ ) 的干扰作用; 再加入 HP- $\beta$ -CD 以修正 SLDED 的紫外光谱, 进而分析 HP- $\beta$ -CD 对 SLDED 紫外光谱的抗干扰作用; 结合红外光谱特征 (FTIR) 和核磁氢谱表征 ( $^1H$ -NMR) 分析 HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 之间的作用机理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 SDS 对 SLDED 紫外光谱及胶束形成能力的干扰

分别测定  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS 水溶液、 $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 水溶液以及  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS/ $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 二元复合水溶液的紫外光谱图, 如图 1。同时检测 SDS 的浓度对二元复合水溶液中 SLDED 表观  $cmc$  的影响, 如图 2。

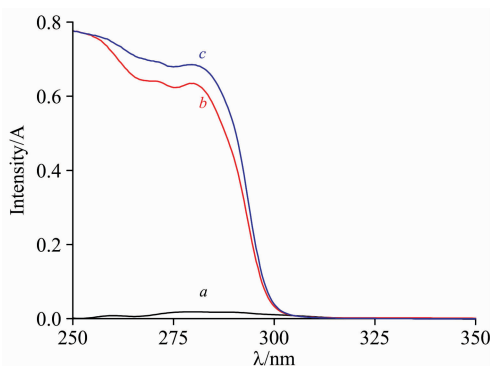


图 1 SDS(a), SLDED(b)及 SDS/SLDED 复合水溶液(c)的紫外光谱图

Fig. 1 UV spectra of SDS (a), SLDED (b) and SDS/SLDED (c) in aqueous solution

图 1 中曲线 a 表明, SDS 在  $250 \sim 350 \text{ nm}$  内的紫外吸光度接近于 0。对比图 1 中曲线 b 和曲线 c 可知, 加入  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  复合组分 SDS 后,  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 在最大吸收波长  $281 \text{ nm}$  处的吸光度由  $0.631$  增加至  $0.682$ , 增幅达  $8.1\%$ , 表明了 SDS 能对 SLDED 的紫外吸光度产生明显干扰。图 2 表明, SLDED 在纯水中的  $cmc$  为  $1.12 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  (曲线 a), 加入复合组分 SDS 后, SLDED 的表观  $cmc$  降低, 这可能是由于 SDS 与 SLDED 之间的协同作用致使二者共同参与了胶束形成过程, 当 SDS 的浓度分别为  $0.200$  和

$0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, SLDED 在水溶液中的表观  $cmc$  分别降低至  $0.889$  及  $0.702 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 可见 SDS 还能显著降低 SLDED 在水溶液中的表观  $cmc$ 。

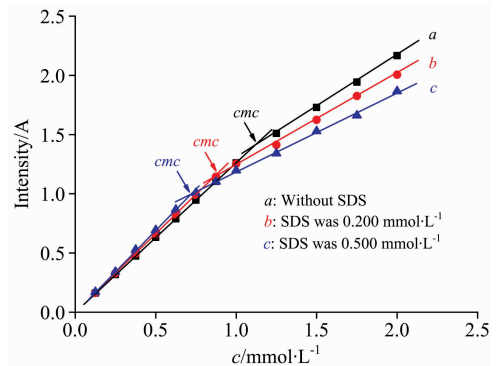


图 2 SLDED 紫外吸光度随 SDS 浓度变化的曲线

Fig. 2 Plot of ultraviolet absorbance versus SLDED concentration in the presence of different SDS concentrations

### 2.2 HP- $\beta$ -CD 消除 SDS 对 SLDED 的紫外光谱干扰

在水溶液中加入 HP- $\beta$ -CD 至浓度为  $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 再分别测定 HP- $\beta$ -CD 水溶液中  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS,  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 以及  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS/ $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 复合溶液的紫外光谱图, 如图 3。

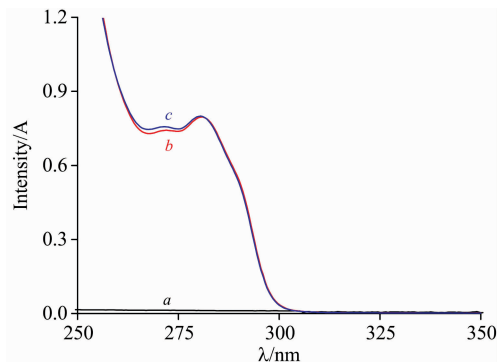


图 3 SDS (a), SLDED (b) 及 SDS/SLDED 复合组分 (c) 在 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的紫外光谱图

Fig. 3 Ultraviolet absorbance of SDS (a), SLDED (b) and SDS/SLDED (c) in HP- $\beta$ -CD aqueous solution

图 3 中曲线 b 和曲线 c 表明, 加入  $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  HP- $\beta$ -CD 后,  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 与  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SDS/ $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SLDED 复合溶液在最大吸收波长  $281 \text{ nm}$  处的吸光度分别为  $0.796$  和  $0.798$ , 相差仅  $0.3\%$ , 远低于不添加 HP- $\beta$ -CD 时的增幅  $8.1\%$  (见图 1 分析结果), 可见 HP- $\beta$ -CD 确能显著降低 SDS 对 SLDED 紫外光谱的干扰。这可能是因为 HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 形成了包合物, 阻断了 SDS 与 SLDED 之间的相互作用<sup>[12-13]</sup>。另外, 分别对比图 1 及图 3 可知, 加入  $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  HP- $\beta$ -CD 后, SLDED 的吸光度明显变大, 可见 HP- $\beta$ -CD 还兼具增强 SLDED 吸收强度的作用<sup>[13]</sup>, 一般而言, 提高吸收强度有利于提高检测灵敏度。

为了明确 HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 形成包结物时二者的浓度关系,采用等摩尔连续变化法(Job's 法)分析 SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结物的包结比。保持水溶液中 SLDED 与 HP- $\beta$ -CD 的浓度之和为  $1.000 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 逐渐改变二者的比例,检测时始终以相同浓度的 SLDED 水溶液作为检测背景,扣除检测背景后 SLDED 在 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的吸光度随摩尔分率变化曲线如图 4。

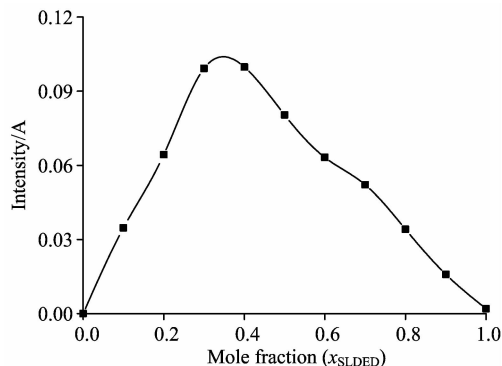


图 4 SLDED 在 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的 Job's 曲线

Fig. 4 Job's plot for inclusion complexation of SDBS and HP- $\beta$ -CD in aqueous solution

从图 4 可以看出,SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结物中 SLDED 的摩尔分率约为 0.35,据此可推测出在水溶液中 SLDED 分子与 HP- $\beta$ -CD 分子按照物质的量比 1:2 进行包结(即 SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结比为 1:2)。

### 2.3 HP- $\beta$ -CD 对 SDS/SLDED 复合体系中 SLDED 表现 $cmc$ 的影响

在 SDS/SLDED 复合水溶液中加入 HP- $\beta$ -CD,保持水溶液中 SDS 的浓度为  $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,逐渐提高 SLDED 的浓度,复合溶液中 SLDED 在不同浓度 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的吸光度随浓度变化曲线如图 5。

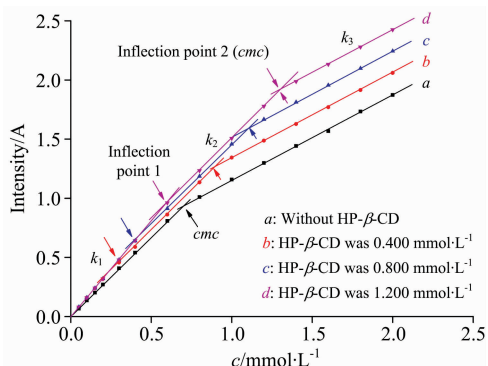


图 5 复合溶液中 SLDED 在不同浓度 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的吸光度随浓度变化曲线

Fig. 5 Plot of ultraviolet absorbance versus SLDED concentration in SDS/SLDED complex in the presence of different HP- $\beta$ -CD concentrations

图 5 中表明,加入 HP- $\beta$ -CD 后,随着 SLDED 浓度的增加,复合溶液中 SLDED 的吸光度曲线斜率均发生了两次改

变,分别对应图 5 中曲线  $b$ ,  $c$  和  $d$  的两个拐点,SLDED 的表现  $cmc$  即第二拐点处所对应的浓度<sup>[14]</sup>。由图 5 可知,SLDED 的表现  $cmc$  随 HP- $\beta$ -CD 浓度的增加而增大,当 HP- $\beta$ -CD 浓度为  $0, 0.400, 0.800$  及  $1.200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,SLDED 的表现  $cmc$  分别为  $0.702, 0.901, 1.100$  和  $1.303 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。与不添加 HP- $\beta$ -CD 相比,SLDED 表现  $cmc$  的增加幅度分别为  $0.199, 0.398$  和  $0.601 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,SLDED 表现  $cmc$  的增幅与 HP- $\beta$ -CD 浓度增幅的比例接近 1:2,该比例关系与二者形成包结物时的比例关系相吻合,表明在复合水溶液中,SLDED 优先同 HP- $\beta$ -CD 形成包结物,包结物形成时 SLDED 的吸光度与浓度关系对应于图 5 中曲线  $b$ ,  $c$  和  $d$  在第一拐点之前的直线  $k_1$ 。

依据王键吉等<sup>[15]</sup>采用的方法可计算出 SLDED 在 HP- $\beta$ -CD 水溶液中形成胶束过程的标准摩尔吉布斯函数变化及 SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结物的包结比,见表 1。表 1 中  $n$  为 HP- $\beta$ -CD 的浓度, $cmc^*$  为 SLDED 在 HP- $\beta$ -CD 水溶液中的表现  $cmc$ , $\gamma$  为 SLDED 胶束的解离度, $cmc$  为 SLDED 在纯水中的临界胶束浓度, $R$  为复合体系中 SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结物的包结比。

表 1 HP- $\beta$ -CD 水溶液中  $25^\circ\text{C}$  时 SLDED 的热力学参数  
Table 1 Thermodynamic parameters for SLDED in HP- $\beta$ -CD aqueous solution at  $25^\circ\text{C}$

$n/(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	0	0.400	0.800	1.200
$cmc^*/(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$	0.702	0.901	1.100	1.303
$k_3$	71.600	71.625	72.125	72.833
$k_2$	135.143	136.500	136.333	131.167
$\gamma$	0.530	0.525	0.529	0.555
$\Delta_r G_m^\circ/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	-41.098	-39.833	-39.488	-38.184
$R$	—	2.010	2.010	1.997

由表 1 可知,复合溶液中 SLDED 形成胶束过程的标准摩尔吉布斯函数变  $\Delta_r G_m^\circ$  随 HP- $\beta$ -CD 浓度的增加而增大,当 HP- $\beta$ -CD 浓度由 0 分别增加至  $0.400, 0.800$  及  $1.200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,SLDED 形成胶束过程的  $\Delta_r G_m^\circ$  由  $-41.098 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  分别增大至  $-39.833, -39.488$  和  $-38.184 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ , $\Delta_r G_m^\circ$  数值越大表明 SLDED 越难形成胶束,可见 HP- $\beta$ -CD 阻碍了 SLDED 参与胶束化过程,在水溶液中 SLDED 将优先同 HP- $\beta$ -CD 形成包结物。

从表 1 还可以看出,SLDED/HP- $\beta$ -CD 包结物的包结比计算值在  $1.997 \sim 2.010$  之间,表明了 SLDED/HP- $\beta$ -CD 按物质的量计量比 1:2 进行包结。

### 2.4 HP- $\beta$ -CD 消除 SDS 对 SLDED 干扰验证结果

按照物质的量 1:2 加入 HP- $\beta$ -CD,建立 SLDED 水溶液的定量标准曲线,曲线方程为  $y=1.601x+0.001$ ,再采用该定量标准曲线及纯水中 SLDED 的定量标准曲线(图 2 中曲线  $a$ ),测定一系列 SDS/SLDED 复合溶液中 SLDED 的回收率,结果见表 2。

由表 2 可以看出,基于纯水中 SLDED 的定量标准曲线难以准确测定复合溶液中 SLDED 的浓度,计算出的 SLDED

的回收率为 90.7~106.0%。加入 HP- $\beta$ -CD 后,在 0.100~1.500 mmol·L<sup>-1</sup> 内,复合溶液中 SLDED 的回收率为 100.8%~101.4%,可见 HP- $\beta$ -CD 能够消除 SDS 与 SLDED 之间的相互作用以及胶束化作用对检测复合溶液中 SLDED 产生的干扰,表明了 SDS 不会对 HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 的包结过程产生明显影响。

### 2.5 HP- $\beta$ -CD/SLDED 包结物结构及键合作用分析

按物质的量 1:2 制备 HP- $\beta$ -CD/SLDED 包结物,对 SLDED 及其包结物进行红外光谱 (FTIR) 和核磁氢谱 (<sup>1</sup>H-NMR, D<sub>2</sub>O 作溶剂) 分析,结果见图 6 及表 3。

表 2 SDS/SLDED 复合体系水溶液中 SLDED 的浓度分析 (单位: mmol·L<sup>-1</sup>)

Table 2 Analysis of SLDED for SDS/SLDED complex system in water (Unit: mmol·L<sup>-1</sup>)

SLDED	SDS	Measured value of SDBS	Recovery rate of SDBS/%
0.100	0.100	0.106 <sup>a</sup>	106.0
0.500	0.100	0.527 <sup>a</sup>	105.4
1.000	0.500	0.938 <sup>a</sup>	93.8
1.500	0.500	1.361 <sup>a</sup>	90.7
0.100	0.100	0.101 <sup>b</sup>	101.0
0.500	0.100	0.504 <sup>b</sup>	100.8
1.000	0.500	1.012 <sup>b</sup>	101.2
1.500	0.500	1.521 <sup>b</sup>	101.4

a: calculated by standard curve *a* in Fig. 2; b: calculated by equation:  $y=1.601x+0.001$

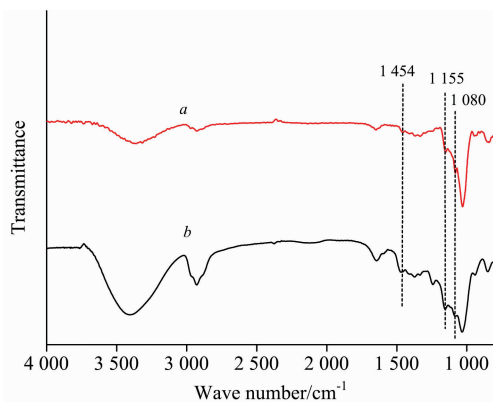


图 6 HP- $\beta$ -CD (a) 以及 HP- $\beta$ -CD/SLDED (b) 包结物的 IR 光谱

Fig. 6 IR spectra of HP- $\beta$ -CD (a) and the inclusion of HP- $\beta$ -CD/SLDED (b)

由图 6 可知,HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 形成包结物结构后,HP- $\beta$ -CD 的红外光谱谱图骨架结构无明显变化。但在 1080 cm<sup>-1</sup>, 归属于 HP- $\beta$ -CD 分子中连接 D-吡喃葡萄糖的 C—O—C

基团的弯曲振动峰强度发生了明显改变, C—O—C 基团位于 HP- $\beta$ -CD 分子内腔的中部, 表明了包结物结构中 SLDED 分子已经进入至 HP- $\beta$ -CD 分子的空腔中部。图 6 中 1155 cm<sup>-1</sup> 处归属于 HP- $\beta$ -CD 分子窄口径端的 —CH<sub>2</sub>OH 基团的振动峰强度无明显改变, 而在 1454 cm<sup>-1</sup> 处位于 HP- $\beta$ -CD 分子宽口径端的 —OH 基团振动峰强度发生了较大改变, 表明了包结物结构中 SLDED 的两个苯磺酸根基团可能偏向于 HP- $\beta$ -CD 分子的宽口径端。

表 3 HP- $\beta$ -CD/SLDED 包结物形成后 HP- $\beta$ -CD 分子的 1~6H 的化学位移值

Table 3 <sup>1</sup>H-NMR chemical shift of HP- $\beta$ -CD and the inclusion of HP- $\beta$ -CD and SLDED

Sample	1 H	2 H	3 H	4 H	5 H	6 H
HP- $\beta$ -CD	5.074	3.593	3.951	3.495	3.727	3.873
Inclusion	5.074	3.592	3.927	3.495	3.722	3.873

从表 3 可知,包结物形成后,HP- $\beta$ -CD 分子中仅 3H 的化学位移值发生了较大改变,而 3H 位于 HP- $\beta$ -CD 分子空腔内侧偏宽口径端,可见 SLDED 的苯磺酸根基团确已进入了 HP- $\beta$ -CD 分子空腔,并偏向于 HP- $\beta$ -CD 分子的宽口径端。

结合以上分析结果可推测出 SLDED 与 HP- $\beta$ -CD 包结物可能的形成过程如图 7。

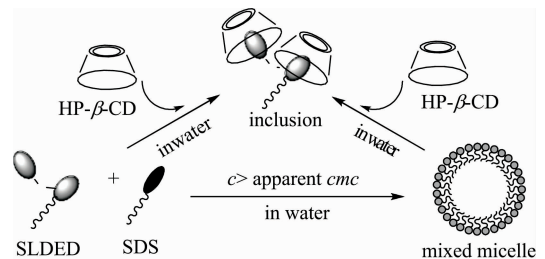


图 7 SDS/SLDED 复合水溶液中 HP- $\beta$ -CD 与 SLDED 包结物可能的形成过程

Fig. 7 Possible formation process of complex of SLDED and HP- $\beta$ -CD in SDS/SLDED aqueous solution

## 3 结 论

复合体系中 SDS 与 SLDED 之间的相互作用,能明显影响 SLDED 的紫外吸光度及表观 *cmc*, 致使依据 SLDED 吸光度与浓度关系建立的定量标准曲线不能有效测定复合体系中 SLDED 的浓度。在水溶液中加入 HP- $\beta$ -CD 后,复合水溶液中 SLDED 形成胶束的  $\Delta_r G_m^\ominus$  随 HP- $\beta$ -CD 浓度的增加而逐渐增加,复合体系中 SLDED 优先与 HP- $\beta$ -CD 形成 2:1 (物质的量比) 的包结物,HP- $\beta$ -CD 既能有效消除 SDS 对 SLDED 吸光度的干扰,同时还能阻止 SLDED 分子聚团形成胶束。该方法能准确检测 SDS/SLDED 复合溶液中 SLDED 的浓度。

## References

- [ 1 ] Khanamiri H H, Nourani M, Tichelkamp T, et al. *Energ Fuel*, 2016, 30(2): 984.
- [ 2 ] Li P Q, Yang C, Cui Z G, et al. *Journal Surfactants and Detergents*, 2016, 19(5): 967.
- [ 3 ] Lu J, Ye F, Huang X, et al. *Journal of Separation Science*, 2017, 40(5): 1133.
- [ 4 ] Alexandre B, Barbara G, Laure W, et al. *Journal of Chromatography A*, 2016, 1450: 64.
- [ 5 ] Oliver-Rodríguez B, Zafra-Gómez A, Reis M S, et al. *Chemosphere*, 2015, 138: 148.
- [ 6 ] Carrillo M, Siebe C, Dalkmann P, et al. *Journal of Soils and Sediments*, 2016, 16(9): 2186.
- [ 7 ] Šima J, Pazdernik M, Triska J, et al. *Journal of Environmental Science and Health—Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 2013, 48(5): 559.
- [ 8 ] Ren Z H, Luo Y, Shi D P. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013, 428: 18.
- [ 9 ] Ramcharan T, Bissessur A. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2016, 19(1): 209.
- [ 10 ] Celebioglu A, Yildiz Z I, Uyar T. *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, 53(1): 112.
- [ 11 ] Michalska P, Wojnicz A, Ruiz-Nuño A, et al. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 157: 94.
- [ 12 ] Devi S, Chattopadhyaya M C. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2013, 16(3): 391.
- [ 13 ] Aytac Z, Ipek S, Durgun E, et al. *Journal of Materials Science*, 2018, 53(2): 1527.
- [ 14 ] Bendazzoli C, Mileo E, Lucarini M, et al. *Microchimica Acta*, 2010, 171(1/2): 23.
- [ 15 ] WANG Jian-ji, YANG Zhen-yu, YUE Yong-kui, et al(王键吉, 杨震宇, 岳永魁, 等). *Acta Chimica Sinica(化学学报)*, 2003, 61(8): 1261.

## Interference of SDS on Ultraviolet Absorbance Spectrum of SLDED Greatly Reduced by HP- $\beta$ -CD

SHI Dong-po<sup>1</sup>, HUANG Hong-yi<sup>1</sup>, YIN Xian-qing<sup>1</sup>, JING Bo<sup>2,3</sup>, WANG Xiu-jun<sup>2,3</sup>, CHEN Wen-juan<sup>2,3</sup>, LI Geng<sup>1</sup>

1. College of Chemical and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

2. State Key Laboratory of Offshore Oil Exploitation, Beijing 100027, China

3. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China

**Abstract** Ultraviolet absorption spectrophotometry was applied to the determination of sodium lauryl diphenyl ether disulfonate (SLDED) in SLDED and sodium dodecyl sulfonate (SDS) complex systems. The results indicated that the existence of SDS not only can improve the ultraviolet absorption intensity of SLDED but also can greatly decrease the apparent critical micelle concentration values of SLDED in aqueous solution. With the addition of 0.500 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> SDS, the ultraviolet absorption intensity of SLDED increased from 0.631 to 0.682, with an increase of 8.1%. In addition, the apparent critical micelle concentration values of SLDED reduced from 1.12 to 0.702 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> when the concentrations of SDS respectively increased from 0 to 0.500 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup>. The results also showed that the interference of SDS on the ultraviolet absorption intensity of SLDED could be greatly reduced by HP- $\beta$ -CD. With the addition of 1.000 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> HP- $\beta$ -CD, the ultraviolet absorption intensity of 0.500 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup> SLDED increased from 0.796 to 0.798, with an increase of only 0.3%, much lower than the increase without HP- $\beta$ -CD. SLDED molecules were more likely to form inclusion complexes with HP- $\beta$ -CD rather than micelles. Thus, the standard molar Gibbs free energy for SLDED from aqueous SDS/SLDED binary blend solution to the micelle,  $\Delta_r G_m^\ominus$ , was respectively increased from -41.098 to -39.833 kJ  $\cdot$  mol<sup>-1</sup>, -39.488 and -38.184 kJ  $\cdot$  mol<sup>-1</sup> while the concentrations of HP- $\beta$ -CD increased from 0 to 0.400, 0.800 and 1.200 mmol  $\cdot$  L<sup>-1</sup>. The results of Job's plot for inclusion complexation of SLDED with HP- $\beta$ -CD indicated that "HP- $\beta$ -CD/SLDED" inclusion might be formed with the molar ratio of 2 : 1. The concentration of SLDED in aqueous SDS/SLDED binary blend solution, could be accurately calculated by adding HP- $\beta$ -CD with the molar ratio of 2 : 1, and the recovery rate of SLDED was 100.8%~101.4%. The results of <sup>1</sup>H-NMR and FT-IR exhibited that the interference of SDS on determination of SLDED could be greatly reduced because of the formation of SLDED/HP- $\beta$ -CD inclusion with SLDED molecule locating within the HP- $\beta$ -CD molecule.

**Keywords** Sodium lauryl diphenyl ether disulfonate; Hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin; Micelle; Ultraviolet spectra

(Received May 24, 2018; accepted Oct. 30, 2018)