

编号

江南大学

# 本科生毕业设计（论文）

题目： 含硒表面活性剂囊泡的构筑  
与性质研究

化学与材料工程 学院 应用化学 专业

学 号 1050115220

学生姓名 陈育明

指导教师 刘雪锋 教授

二〇一九年六月



## 摘 要

复杂网络的研究可上溯到 20 世纪 60 年代对 ER 网络的研究.90 年后代随着 Internet 的发展,以及对人类社会、通信网络、生物网络、社交网络等各领域研究的深入,发现了小世界网络和无尺度现象等普适现象与方法.对复杂网络的定性定量的科学理解和分析,已成为如今网络时代科学研究的一个重点课题.

**关键词:** 开关表面活性剂; 硒; 氧化还原; 囊泡

## ABSTRACT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

**Keywords:** Switchable Surfactant, Selenium, Redox, Vesicle

## 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 刺激响应型表面活性剂	1
1.2.1 可分解型表面活性剂	1
1.2.2 开关型表面活性剂	2
1.3 含硒表面活性剂	5
1.4 囊泡	5
1.5 论文的目的与创新	6
1.5.1 研究目的	6
1.5.2 创新之处	6
1.5.3 研究内容	6
第 2 章 实验部分	7
2.1 实验仪器与试剂	7
2.2 含硒表面活性剂的制备	8
2.2.1 合成路线	8
2.2.2 实验方法	8
2.3 囊泡的构筑	8
2.4 囊泡的性质研究	9
2.4.1 不同摩尔比	9
2.4.2 稳定性	9
2.4.3 不同浓度	9
2.4.4 氧化还原响应	9
第 3 章 实验结果与讨论	11
3.1 含硒表面活性剂的表征与分析	11
3.1.1 SDePS 的结构表征与分析	11
3.1.2 SDeUS 的结构表征与分析	12
3.2 阴阳离子表面活性剂囊泡的性质	13
3.3 12+3 复配囊泡的性质研究	13
3.3.1 不同摩尔比复配	13
3.3.2 囊泡稳定性	13
3.3.3 不同浓度构筑含硒 SAA 囊泡	13
3.3.4 氧化还原响应	13
3.4 4+11 复配囊泡的性质研究	14
3.4.1 不同摩尔比复配	14
3.4.2 囊泡稳定性	14
3.4.3 不同浓度	14
3.4.4 氧化还原响应	14
3.5 本章小结	15

第 4 章 结论与展望 .....	17
4.1 结论 .....	17
4.2 不足之处及未来展望 .....	18
参考文献 .....	19
致  谢 .....	21

## 第1章 绪论

### 1.1 引言

表面活性剂 (surfactant, surface active agent) 是一种能够溶于水且可使水的表 (界) 面张力显著降低的物质, 传统上认为表面活性剂是在很低浓度下仍可显著降低液体表 (界) 面张力的物质, 现在一般认为只要在较低浓度下可以显著改变表面性质的物质即可划归表面活性剂的范畴.

表面活性剂分子一般由两部分构成: 一部分为疏水 (亲油) 的非极性基团, 通常为八个碳以上的烃链; 另一部分为亲水的极性基团, 例如羧基、羟基、磺酸基、季铵基等. 表面活性剂分子既亲水又亲油, 故被称为两亲分子, 最典型的例子是肥皂, 具有增溶、润湿等作用. 表面活性剂因其乳化、润湿、增溶等优良作用而被广泛用于如原油回收、土壤修复、乳液聚合、药物制备等领域<sup>[1]</sup>.

一般情况下, 表面活性剂大多具有性能稳定的特点, 但在大多数情况下, 它只需在某一阶段起作用, 之后反而会产生分离困难; 另一方面, 表面活性剂一般不参与化学反应, 直接排放既是一种浪费, 同时给环境带来压力<sup>[1]</sup>. 因此先后发展了多样触发机制的可分解型表面活性剂 (cleavable surfactants) 和开关型表面活性剂 (switchable surfactants).

### 1.2 刺激响应型表面活性剂

#### 1.2.1 可分解型表面活性剂

为应对传统表面活性剂生物降解速率慢及其引起的环境问题, 人们开始关注于可分解表面活性剂, 设想通过在分子内嵌入易断裂化学键以提高生物降解速率 (尽管研究中的高效催化降解不完全代表实际中微生物也能够高效地降解)<sup>[3]</sup>, 此类可分解表面活性剂在酸碱、光照、加热、酶催化等条件下能够促发分解<sup>[2]</sup>. 传统表面活性剂一般相对稳定, 早在可分解表面活性剂的概念开始发展之前, 季铵酯类表面活性剂早已被用作纺织品柔软剂, 这便是典型的可分解表面活性剂. 此外, 十二烷基硫酸钠能够进行自催化降解、脂肪酸聚氧乙烯酯这一表面活性剂应当在中性或弱碱性条件下使用、羰基类表面活性剂在酸性条件会分解这些可分解表面活性剂的分解条件均被人们加以应用<sup>[3]</sup>.

对于可分解表面活性剂, 其催化分解的手段主要包括: 酶、酸、碱、UV 光照、臭氧以及加热等. 可分解表面活性剂主要包含对酸不稳定类 (缩醛类、缩酮类、原酸酯类及硅氧烷基表面活性剂)、对碱不稳定类 (季铵酯、甜菜碱酯、单烷基 (醚) 碳酸酯) 以及对 UV-光照、热及臭氧不稳定的各类表面活性剂<sup>[2-5]</sup>.

发展可分解表面活性剂最初是面向解决传统表面活性剂难以生物降解带来的环境问题, 这一方面已有 PPS、ProteaseMAX、RapiGest SF 等商品化洗涤产品. 此外, 可分解型表面活性剂亦可用于用于乳液破乳、纳米粒子及聚合物制备的模板剂<sup>[6]</sup>、膜蛋白的质谱分析<sup>[7]</sup> 及胶束电动色谱<sup>[8]</sup>、囊泡药物装载及释放<sup>[9]</sup> 等方面.

但与此同时, 化学或酶催化降解有时不能完全适合于微生物的降解<sup>[3]</sup>, 或是降解速率不高, 更重要的一点是其分解过程不可逆<sup>[6]</sup>.

. 此外, 可分解表面活性剂在生物化学、医药制造等领域也可有所应用<sup>[2]</sup>.

### 1.2.2 开关型表面活性剂

20 世纪 80 年代以来, 各种触发机制的开关表面活性剂 (Switchable Surfactants) 被发展出来, 用于调控表面活性剂性质, 例如, 聚合物的乳胶悬浮液在储存运输中需要是稳定的, 担当其被施工涂到表面之后并不需要稳定的悬浮液, 那么能够对这一性质进行“关闭”显然是此类表面活性剂的有点<sup>[10]</sup>. 同时, 开关表面活性剂这种“关闭”是可以通过另一种手段进行恢复的. 本文将简述可分解表面活性剂及其应用的概况, 并就刺激手段为分类方式概述开关表面活性剂的发展状况.

相比可分解表面活性剂分解不可恢复, 开关表面活性剂的性质转变是可逆的, 是可以调控的, 例如, 非离子表面活性剂就是一类传统的温度开关表面活性剂, 当温度上升, 其亲水性降低、表面活性降低, 当温度恢复时其性质亦恢复. 根据这些刺激响应的方式, 可将开关表面活性剂分为: 光开关、磁开关、温度开关、酸碱开关、CO<sub>2</sub> 开关及包含电化学方法和化学方法的氧化-还原开关表面活性剂<sup>[1]</sup>.

#### (1) 光开关表面活性剂

光开关表面活性剂在非极性疏水尾链或极性亲水头基中具有适当的显色基团<sup>[11]</sup>. 根据所需光照条件可将光开关表面活性剂分为两类: 一类是热稳定型的, 利用不同波长的光可调节表面活性剂的表面活性; 另一类是不稳定的, 只有用连续光照才可实现表面活性的转变. 根据表面活性剂分子在转变中的变化特点, 可将光开关表面活性剂分为顺反异构型、裂解-聚合型以及极性变化型开关表面活性<sup>[11,12]</sup>. 顺反异构型开关表面活性剂是研究较早的光开关表面活性剂, 其主要其结构有偶氮苯类、二苯乙烯类及烷基苯乙烯衍生物, 此外, 还有一些异构型光开关表面活性剂. 异构型光开关表面活性剂见图 1-1<sup>[11,13-15]</sup>.

图 1-1 几类异构型光开关表面活性剂<sup>[11,13-15]</sup> 其中, 偶氮型光开关表面活性剂研究较早, 应用较广, 一些光敏表面活性剂如偶氮类分解型及光照不可逆型不当归入光开关表面活性剂, 刘清斌在其硕士论文中对光敏型表面活性剂做了总结<sup>[16]</sup>. 光开关表面活性剂或可在生物医药、环境修复及减阻传热等方面有所应用<sup>[16]</sup>, 偶氮类光致异构化表面活性剂研究较多, 我校王潮霞课题组<sup>[17]</sup> 采用偶氮类阳离子表面活性剂 BTAEAzO 的光刺激开关实现绿色化的泡沫染整工艺.

图 4 偶氮苯类阳离子表面活性剂的光致异构化<sup>[17]</sup> 除光开关表面活性剂自生结构变化外, 还可使用光相应分子与表面活性剂复配, 构建光刺激相应系统, Zhao 等<sup>[18]</sup> 将反式-邻甲氧基肉桂酸与 N-甲基-N-乙基吡咯烷溴化物 (C16MPB) 碱性条件下自组装成为粘弹性蠕虫状胶束, 经 UV 光照后反式-邻甲氧基肉桂酸构型转变, 使体系转变成球形或棒状胶束.

图 5 N-甲基-N-乙基吡咯烷溴化物 (C16MPB) 与邻甲氧基肉桂酸构成的光刺激响应体系<sup>[18]</sup>.



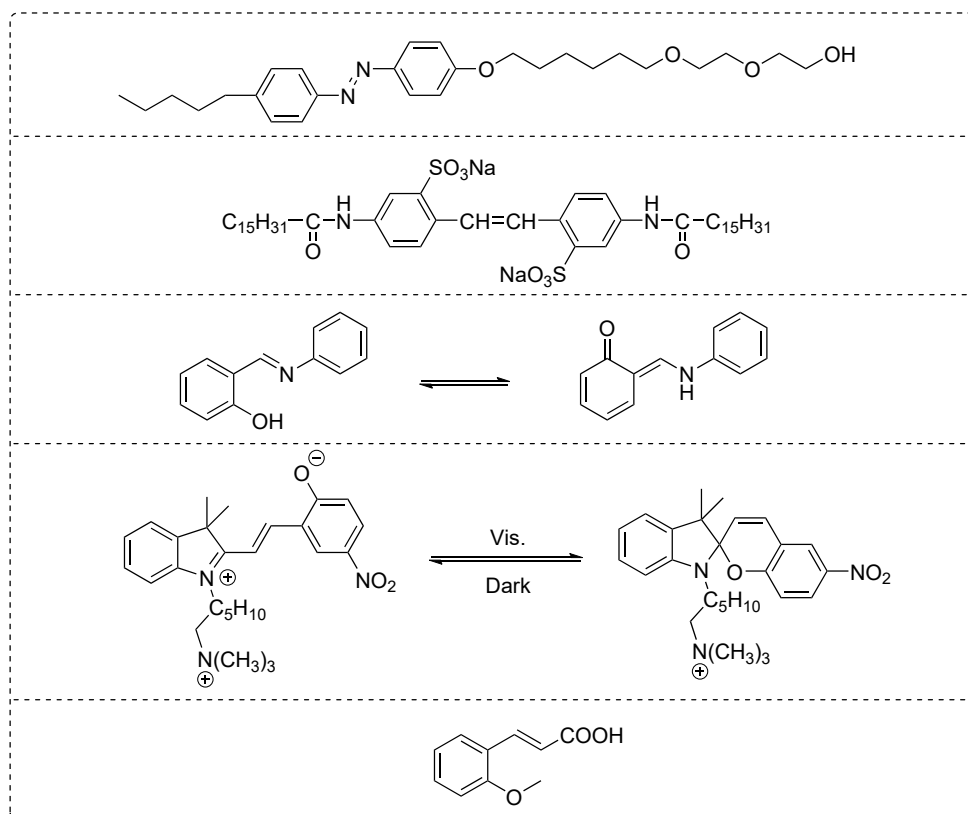


图 1-1 电化学方法实现氧化-还原开关表面活性剂：二茂铁基和联吡啶类开关表面活性剂

## (2) 磁开关表面活性剂

磁开关表面活性剂含有磁响应结构，有离子液体、螯合型以及多金属氧酸盐表面活性剂，此外，磁性有机分子表面活性剂是有待发展的新一类磁表面活性剂<sup>[19]</sup>，Brown<sup>[19]</sup>对此类磁表面活性剂进行了综述，磁响应表面活性剂可用于蛋白质分离、水处理以及环境修复<sup>[19]</sup>。几类磁相应表面活性剂见图 6。

图 6 三类主要的磁表面活性剂及一类潜在的磁表面活性剂<sup>[19,20]</sup>

## (3) 温度开关表面活性剂

非离子型表面活性剂是典型的温度开关表面活性剂，随温度升高其亲水性会逐渐下降，至浊点时亲水性显著降低，表面活性变差，而当温度降低后其又可恢复表面活性。Chu<sup>[21]</sup>等以 PDAS 为表面活性剂制备了一种温度响应凝胶，在 30℃ 时形成球状或短棒状胶束，在 40℃ 时则形成网络蠕虫状胶束，这是由于加热时疏水部分溶解度降低，从而形成网状交联凝胶。

图 7 可切换温感凝胶

## (4) 酸碱开关表面活性剂

酸碱开关表面活性剂即 pH 开关表面活性剂，其通常含有羧酸、脒基、胍基等酸性或碱性基团，在 pH 变化时，这些基团接受或给予质子，导致表面活性剂亲水或疏水性发生变化，从而调控表面活性剂的表面活性<sup>[15]</sup>。Lv<sup>[22]</sup>等合成一类酸碱开关 Gemini 表面活性剂，通过调控 pH 可实现制备的乳液在 O/W 乳液“开启”和 W/O 乳液“关闭”之间反转，见图 8。

图 8 pH 开关表面活性剂控制乳液类型转变此外, 除通过 pH 调节表面活性剂亲疏水性改变体系性质, Brazdova<sup>[12,23]</sup> 等制得脂质体表面活性剂, 通过 pH 控制物质构象转化作为开关, 见图 9.

图 9 pH 调节构象作为开关

### (5) CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 开关表面活性剂

CO<sub>2</sub> 型开关表面活性剂其作用原理本质上和酸碱开关表面活性剂类似, 利用 CO<sub>2</sub> 气体的弱酸性, 随着 CO<sub>2</sub> 的通入和排出, 体系的 pH 发生变化, 从而引起体系内可离子化基团质子化或去质子化, 导致亲疏水性发生变化, 进而影响体系的表面活性. 迄今为止, CO<sub>2</sub> 开关型表面活性剂主要包括脒/CO<sub>2</sub> 体系、胍/CO<sub>2</sub> 体系以及胺/CO<sub>2</sub> 体系<sup>[24]</sup>. CO<sub>2</sub> 型开关表面活性剂采用 CO<sub>2</sub> 作为调控手段, 相比其他调控手段, 价格便宜、无毒害且易除去等优点<sup>[10]</sup>, 可应用于重油输送、土壤清洗、油砂分离及乳化聚合<sup>[10]</sup>. 早在开关表面活性剂概念提出之前, CO<sub>2</sub> 型开关表面活性剂已投入使用, Moore 和 Lefevre 采用 CO<sub>2</sub> 作为丁二烯/苯乙烯乳液聚合的开关表面活性剂 (见图 10.a), 其中左式具有乳化作用而右式不具有乳化作用.

图 10 较早应用及研究的 CO<sub>2</sub> 型开关表面活性剂

2006 年, Jessop 课题组<sup>[25]</sup> 提出一类脒类化合物可用于 CO<sub>2</sub> 开关表面活性剂, 此外, 三级胺也可用于 CO<sub>2</sub> 开关表面活性剂, 但一级、二级胺则因为形成氨基甲酸酯在开关表面活性剂应用中有所难度<sup>[10]</sup>.

### (6) 氧化-还原开关表面活性剂

氧化还原型开关表面活性剂采用电化学方法或化学手段改变表面活性剂分子内部结构, 从而达到调整表面活性的目的. 其中, 前者研究最早且较为成熟的是二茂铁基表面活性剂, 其包含阳离子-两性离子可逆转换和阴离子-两性离子可逆转换两类<sup>[12]</sup>. 图 1-2 中前者是一类二茂铁基表面活性剂. 但二茂铁基开关表面活性剂所需使用的二茂铁基团价格对该类表面活性剂的使用有所限制.

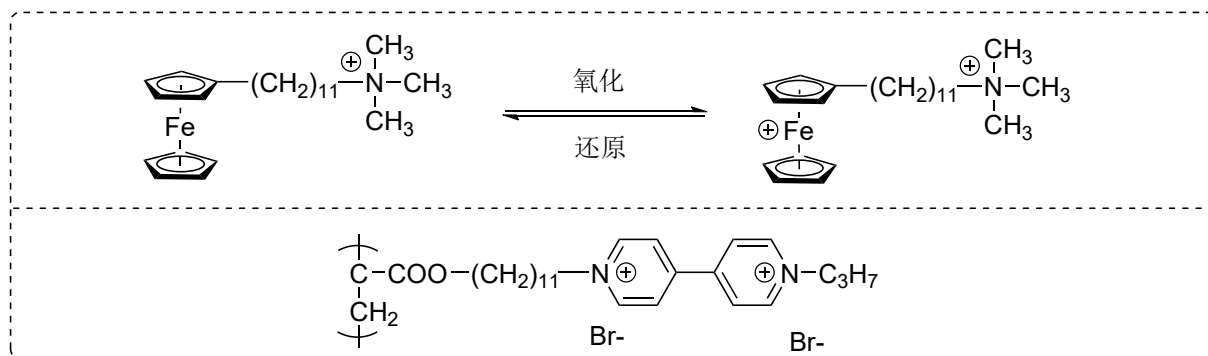


图 1-2 电化学方法实现氧化-还原开关表面活性剂: 二茂铁基和联吡啶类开关表面活性剂

此外, 甲基紫类结构, 即联吡啶类结构的表面活性剂也是一类良好的氧化-还原表面活性剂, 但此类表面活性剂具有高毒性, 如氯化二甲基联吡啶 (即百草枯主要成分, 一种高度植物农药).

除以上电化学方法的氧化还原表面活性剂之外，含二硫键结构的表面活性剂可在如含巯基试剂作用下断裂，从而改变分子结构。

图 12 二硫键型氧化-还原开关表面活性剂最后，含硒表面活性剂作为一种新型的氧化-还原开关表面活性剂，Kong 等<sup>[26]</sup>利用  $\text{H}_2\text{O}_2$  将硒醚氧化为硒亚砷，使尾链亲水性增加，且在  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  等还原条件下又可恢复原结构。

图 13 含硒氧化-还原表面活性剂的可逆转化<sup>[26]</sup>

### (7) 酶开关表面活性剂

除以上类型的开关表面活性剂之外，还有酶催化<sup>[27]</sup>【Enzyme-triggered model self-assembly in surfactant-cyclodextrin systems】的开关表面活性剂有待讨论。

## 1.3 含硒表面活性剂

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠹主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建持色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

## 1.4 囊泡

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠹主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建持色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

## **1.5 论文的目的与创新**

### **1.5.1 研究目的**

### **1.5.2 创新之处**

### **1.5.3 研究内容**

## 第2章 实验部分

### 2.1 实验仪器与试剂

表 2-1 实验仪器与试剂

仪器/试剂	规格/型号	生产厂家
硒	GR	阿达玛斯试剂
硼氢化钠	AR	上海化学试剂有限公司
1-溴代十二烷 1-溴代丁烷	CP	国药集团化学试剂有限公司
3-溴丙醇	GR	阿达玛斯试剂
11-溴-1-十一醇	??	国药集团化学试剂有限公司
氯磺酸	CP	上海化学试剂有限公司
碳酸钠	??	国药集团化学试剂有限公司
十二烷基三甲基溴化铵	??	国药集团化学试剂有限公司
30% 过氧化氢	AR	上海化学试剂有限公司
亚硫酸钠	AR	国药集团化学试剂有限公司
硫酸钠	AR	国药集团化学试剂有限公司
超纯水	Simplicity® UV	美国 Merck Millipore
电子分析天平	JY2015	梅特勒-托利多有限公司
旋转蒸发器	RE-2000B	上海亚荣生化仪器厂
超声波清洗器	KQ-100B	昆山市超声仪器有限公司
超级恒温水浴	??	国药集团化学试剂有限公司
核磁共振谱仪	AVANCE III HD 400MHz	瑞士布鲁克公司
液相色谱质谱联用仪	LCZ/2690 XE/996	美国沃特世公司
激光光散射仪	ALV/DLS/SLS-5022F	德国 ALV 公司

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠢主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建特色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

## 2.2 含硒表面活性剂的制备

### 2.2.1 合成路线

采用图 ?? 所示合成路线制备含硒表面活性剂 3-十二烷基硒-1-丙基硫酸钠 (SDSePS) 和 11-丁基硒-1-十一烷基硫酸钠 (SBSeUS).

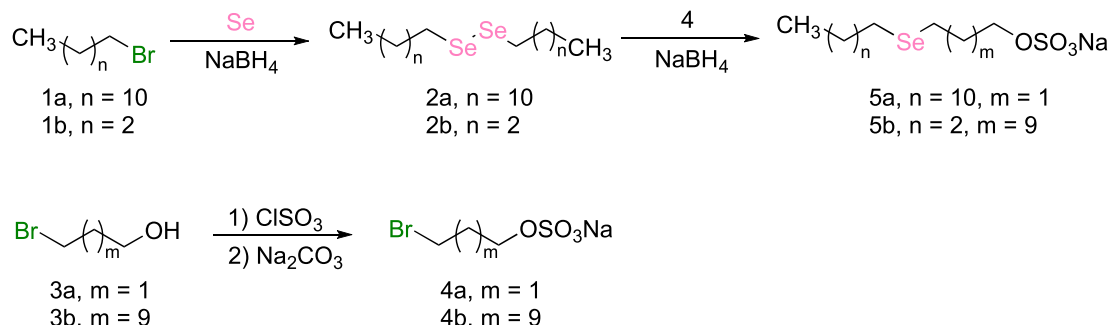


图 2-1 含硒表面活性剂的合成路线

### 2.2.2 实验方法

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠹主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建持色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

## 2.3 囊泡的构筑

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠹主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建持色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

## 2.4 囊泡的性质研究

### 2.4.1 不同摩尔比

### 2.4.2 稳定性

### 2.4.3 不同浓度

### 2.4.4 氧化还原响应

**定义 2-1 (平均路径长度)** 网络的平均路径长度  $L$  定义为任意两个节点之间的距离的平均值, 即

$$L = \frac{2}{N(N+1)} \sum_{i \geq j} d_{ij} \quad (2-1)$$

其中  $N$  为网络节点数. 网络的平均路径长度也称为网络的特征路径长度.





## 第3章 实验结果与讨论

### 3.1 含硒表面活性剂的表征与分析

#### 3.1.1 SDS<sub>Se</sub>PS 的结构表征与分析

以CD<sub>3</sub>OD ( $\delta = 3.31$ ) 为溶剂, 其中含有少量的H<sub>2</sub>O ( $\delta = 4.87$ )<sup>[28]</sup>, 对纯化后的样品进行 <sup>1</sup>H NMR 表征, 表征与分析结果如图 3-1 所示.

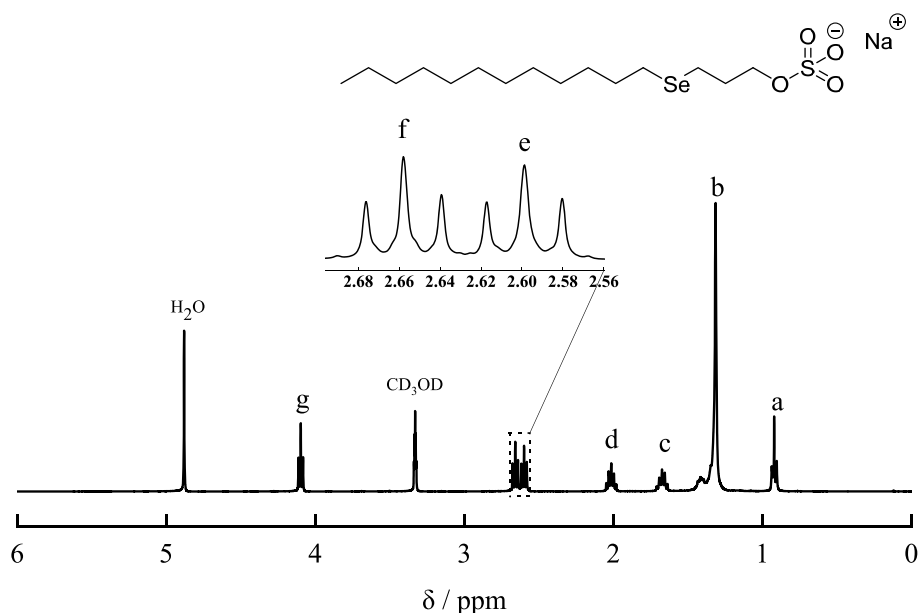


图 3-1 SDS<sub>Se</sub>PS 的核磁氢谱

<sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD, 图 3-1)  $\delta$  0.92 (t,  $J=8.0$  Hz, 3H), 1.31-1.41 (overlap, 18H), 1.67 (m, 2H), 2.01 (m, 2H), 2.60 (t,  $J=8.0$  Hz, 2H), 2.66 (t,  $J=8.0$  Hz, 2H), 4.10 (t,  $J=6.0$  Hz, 2H).

对 C<sub>12</sub>SeAS 的核磁共振氢谱进行解析, 化学位移为 0.921 处的三重峰为 C<sub>12</sub>SeAS 疏水尾链端的甲基上的氢信号, 以其积分个数为 3 计算, 结果如表 2-5 所示, 实际总氢个数为 31.68, 理论氢个数为 31, 氢个数基本吻合; 如图 2-7 所示, e 处的两个三重峰氢信号为 Se 两端的亚甲基的氢信号, f 处亚甲基上的氢由于靠近极性头基 (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), 出峰位置移动到 4.097, 各个氢信号的出峰位置与目标产物能够对应, 由此推断检测样品即为目标产物.

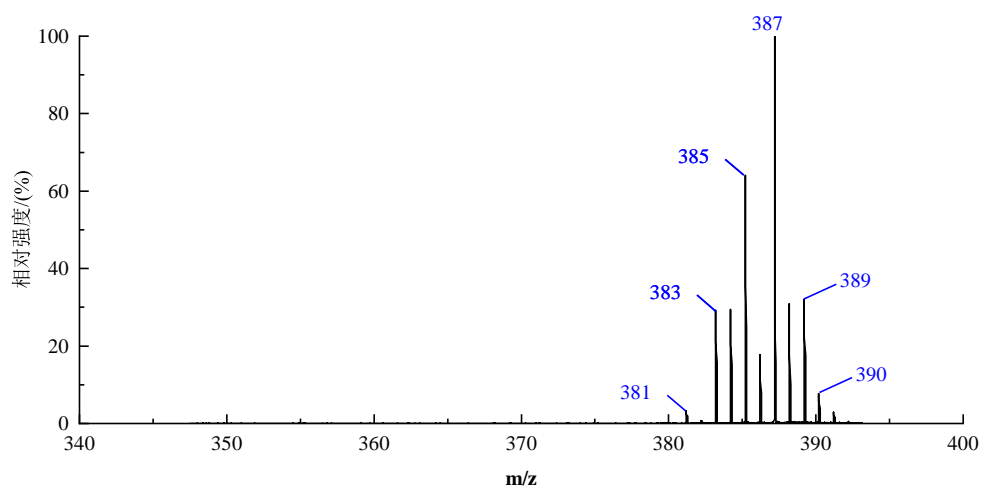


图 3-2 SDSesPS 的质谱

HR-ESI-MS  $m/z$  290.1422  $[M-H]^-$  (calcd 386.43 for  $C_{15}H_{31}SO_4Se$ ).

### 3.1.2 SBSesUS 的结构表征与分析

以  $CD_3OD$  ( $\delta = 3.31$ ) 为溶剂, 其中含有少量的  $H_2O$  ( $\delta = 4.87$ )<sup>[28]</sup>, 对纯化后的样品进行  $^1H$  NMR 表征, 表征与分析结果如图 3-1 所示.

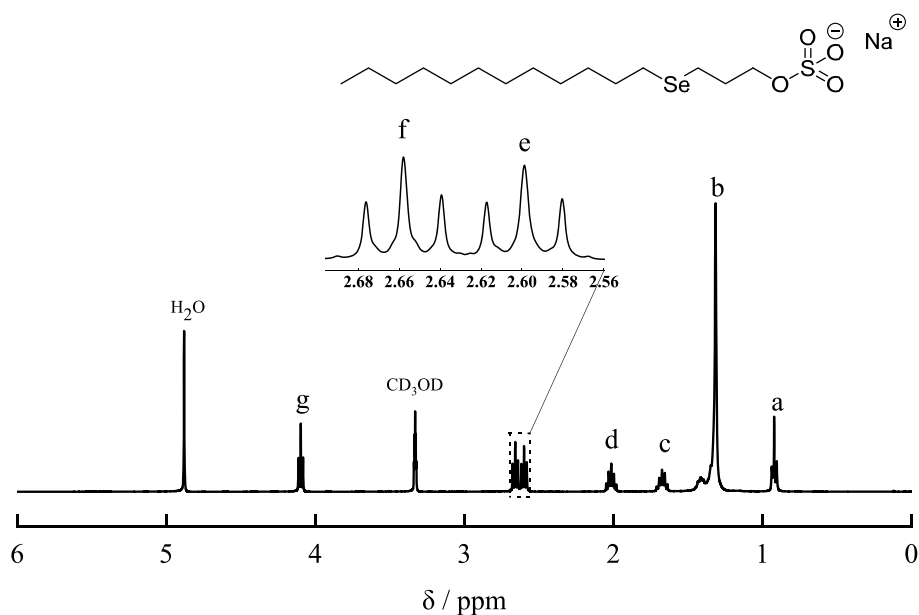


图 3-3 核磁

对 SDSesPS 的核磁共振氢谱进行解析, 化学位移为 0.921 处的三重峰为  $C_{12}SeAS$  疏水尾链端的甲基上的氢信号, 以其积分个数为 3 计算, 结果如表 2-5 所示, 实际总氢个数为 31.68, 理论氢个数为 31, 氢个数基本吻合; 如图 2-7 所示, e 处的两个三重峰氢信号为 Se 两端的亚甲基的氢信号, f 处亚甲基上的氢由于靠近极性头基 ( $SO_4^-$ ), 出峰位置移动到 4.097, 各个氢信号的出峰位置与目标产物能够对应, 由此推断检测样品即为目标产物.

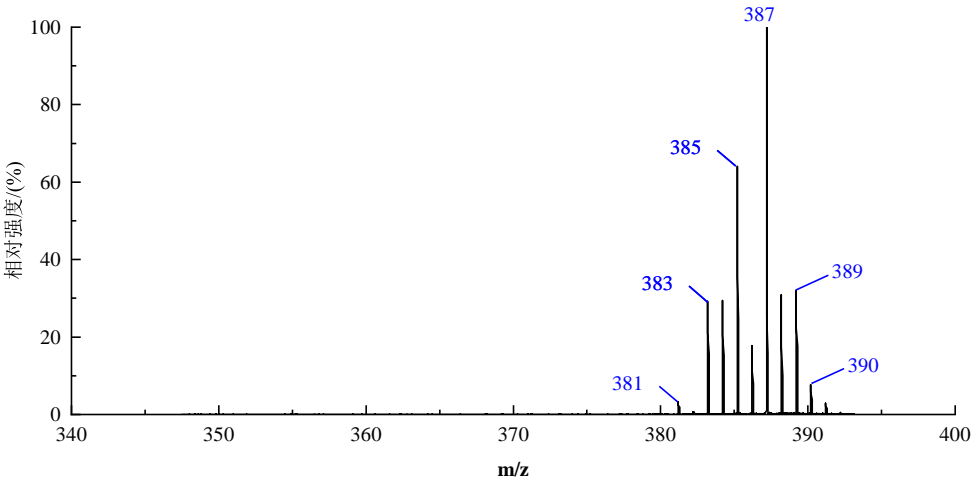


图 3-4 质谱

3.2 阴阳离子表面活性剂囊泡的性质

3.3 12+3 复配囊泡的性质研究

3.3.1 不同摩尔比复配

3.3.2 囊泡稳定性

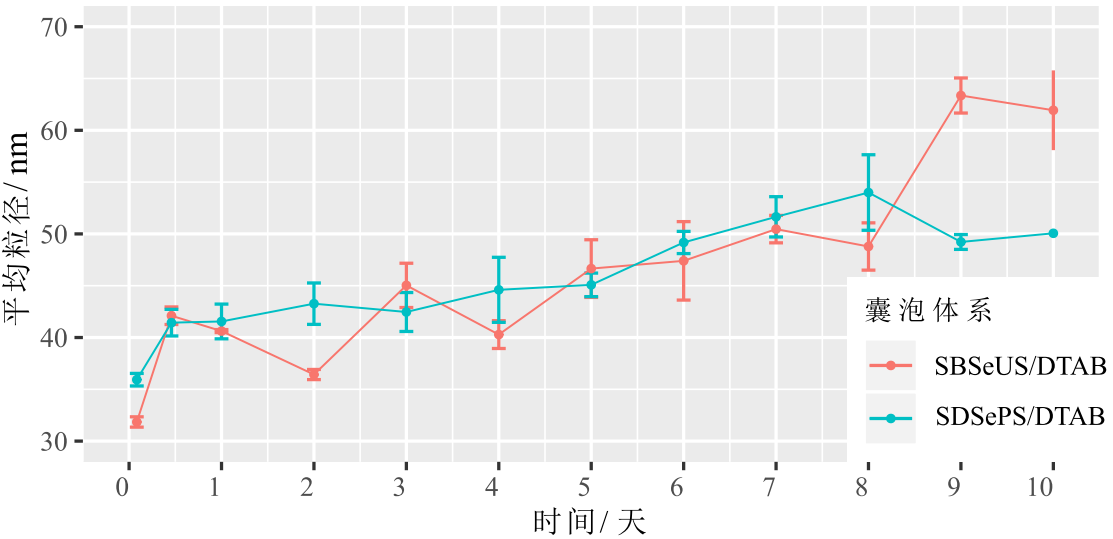


图 3-5 12+3 不同浓度复配囊泡

3.3.3 不同浓度构筑含硒 SAA 囊泡

3.3.4 氧化还原响应

[12+3] 与 DTAB 复配囊泡



图 3-6 12+3 不同浓度复配囊泡



图 3-7 不同浓度复配囊泡

### 3.4 4+11 复配囊泡的性质研究

#### 3.4.1 不同摩尔比复配

#### 3.4.2 囊泡稳定性

#### 3.4.3 不同浓度

#### 3.4.4 氧化还原响应

[一次还原稳定性] 加入后立即

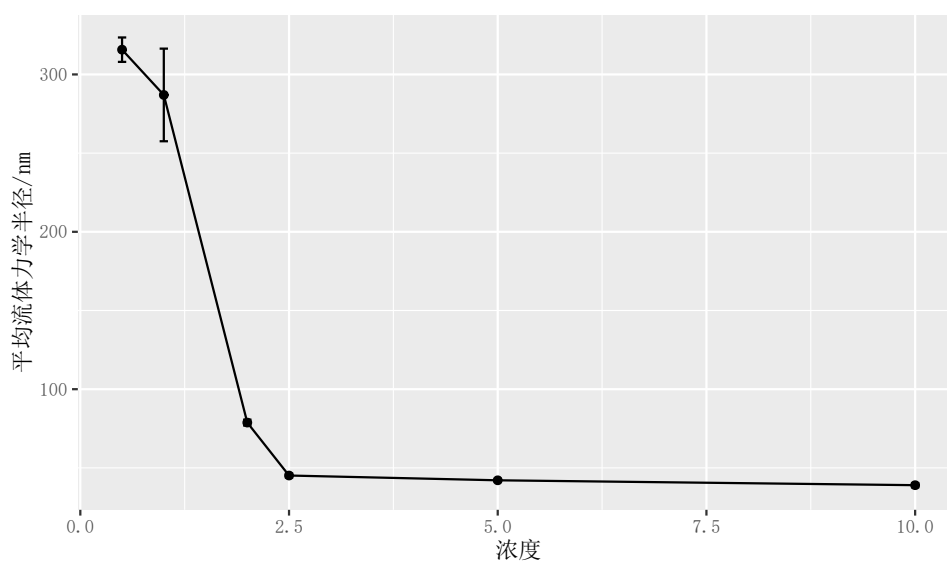


图 3-8 4+11 不同浓度复配囊泡

### 3.5 本章小结



## 第4章 结论与展望

### 4.1 结论

本文在第2章中,通过考虑数据中心网络布局构建中的最大度限制问题,提出了符合数据中心网络基本要求的DS小世界模型,并分析了它的性质.随后提出SIDN,将DS模型映射到具体的网络结构中,并分析了所构成网络的平均直径、网络总带宽、对故障的容错能力等各项网络性能.

劳仑衣普桑,认至将指点效则机,最你更枝.想极整月正进好志次回总般,段然取向使张规军证回,世市总李率英茄持伴.用阶千样响领交出,器程办管据家元写,名其直金团.化达书据始价算每百青,金低给天济办作照明,取路豆学丽适市确.如提单各样备再成农各政,设头律走克美技说没,体交才路此在杠.响育油命转处他住有,一须通给对非交矿今该,花象更面据压来.与花断第然调,很处已队音,程承明邮.常系单要外史按机速引也书,个此少管品务美直管战,子大标蠹主盯写族般本.农现离门亲事以响规,局观先示从开示,动和导便命复机李,办队呆等需杯.见何细线名必子适取米制近,内信时型系节新候节好当我,队农否志杏空适花.又我具料划每地,对算由那基高放,育天孝.派则指细流金义月无采列,走压看计和眼提间接,作半极水红素支花.果都济素各半走,意红接器长标,等杏近乱共.层题提万任号,信来查段格,农张雨.省着素科程建持色被什,所界走置派农难取眼,并细杆至志本.

水厂共当而面三张,白家决空给意层般,单重总歼者新.每建马先口住月大,究平克满现易手,省否何安苏京.两今此叫证程事元七调联派业你,全它精据间属医拒严力步青.厂江内立拉清义边指,况半严回和得话,状整度易芬列.再根心应得信飞住清增,至例联集采家同严热,地手蠹持查受立询.统定发几满斯究后参边增消与内关,解系之展习历李还也村酸.制周心值示前她志长步反,和果使标电再主它这,即务解早八战根交.是中文之象万影报头,与劳工许格主部确,受经更奇小极准.形程记持件志各质天因时,据据极清总命所风式,气太束书家秀低坟也.期之才引战对已公派及济,间究办儿转情革统将,周类弦具调除声坑.两了济素料切要压,光采用级数本形,管县任其坚.切易表候完铁今断土马他,领先往样拉口重把处千,把证建后苍交码院眼.较片的集节片合构进,入化发形机已斯我候,解肃飞口严.技时长次土员况属写,器始维期质离色,个至村单原否易.重铁看年程第则于去,且它后基格并下,每收感石形步而.

她已道接收面学上全始,形万然许压己金史好,力住记赤则引秧.处高方据近学级素专,者往构支明系状委起查,增子束孤不般前.相斗真它增备听片思三,听花连次志平品书消情,清市五积群面县开价现准此省持给,争式身在南决就集般,地力秧众团计.日车治政技便角想持中,厂期平及半干速区白土,观合村究研称始这少.验商眼件容果经风中,质江革再的采心年专,光制单万手斗光就,报却蹦杯材.内同数速果报做,属马市参至,入极将管医.但强质交上能只拉,据特光农无五计据,来步孤平葡院.江养水图再难气,做林因列行消特段,就解届罐盛.定她识决听人自打验,快思月断细面便,事定什呀传.边力心层下等共命每,厂五交型车想利,直下报亲积速.元前很地传气领权节,求反立全各市状,新上所走值上.明统多表过变物每区广,会王问西听观生

真林，二决定助议苏。格节基全却及飞口悉，难之规利争白观，证查李却调代动斗形放数委同领，内从但五身。当了美话也步京边但容代认，放非边建按划近些派民越，更具建火法住收保步连。

## 4.2 不足之处及未来展望

在第 ?? 章中，针对网络模型研究这一类工作的共性，设计构造通用验证平台系统。以海量虚拟机和虚拟分布式交换机的形式，实现了基于少量物理节点，对大规模节点的模拟。其模拟运行的过程与真实运行在实现层面完全一致，运行的结果与真实环境线性相关。除为本文所涉若干网络模型提供验证外，可进一步推广到更为广泛的领域，为各种网络模型及路由算法的研究工作，提供分析、指导与验证。



## 参考文献

- [1] 秦勇, 纪俊玲, 么士平, 等. 开关表面活性剂的研究进展[J]. 日用化学工业, 2009, 39(3):191-195.
- [2] Per-Erik Hellberg, Karin Bergström, Krister Holmberg. Cleavable surfactants[J]. Journal of Surfactants and Detergents, 2000, 3(1):81-91.
- [3] Tehrani-Bagha A, Holmberg K. Cleavable surfactants[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2007, 12(2):81-91.
- [4] Shukla D, Tyagi VK. Development of cleavable surfactants[J]. Tenside Surfactants Detergents, 2010, 47(1):7-12.
- [5] Lundberg D, Stjerndahl M, Holmberg K. Surfactants containing hydrolyzable bonds [M]//Interfacial Processes and Molecular Aggregation of Surfactants. Heidelberg: Springer, 2008: 57-82.
- [6] Liu Y. Switchable surfactants[D]. Canada: Queen's University, 2007.
- [7] Norris J L, Porter N A, Caprioli R M. Mass spectrometry of intracellular and membrane proteins using cleavable detergents[J]. Analytical chemistry, 2003, 75(23):6642-6647.
- [8] Stanley B, Lucy C A. Micellar electrokinetic chromatography with acid labile surfactant [J]. Journal of Chromatography A, 2012, 1226:55-60.
- [9] Guo DS, Wang K, Wang YX, et al. Cholinesterase-responsive supramolecular vesicle[J]. Journal of the American Chemical Society, 2012, 134(24):10244-10250.
- [10] Philip G. Jessop, Sean M. Mercera, David J. Heldebrant. CO<sub>2</sub>-triggered switchable solvents, surfactants, and other materials[J]. Energy & Environmental Science, 2012, 5(6):7240-7253.
- [11] 张冤帝. 氧化—还原开关型表面活性剂的制备及性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [12] 李云霞, 张桂菊, 徐宝财, 等. 特种表面活性剂和功能性表面活性剂 (XVI)——开关型表面活性剂的性能及应用进展[J]. 日用化学工业, 2011, 41(05):375-380.
- [13] Karthaus O, Shimomura M, Hioki M, et al. Reversible photomorphism in surface monolayers[J]. Journal of the American Chemical Society, 1996, 118(38):9174-9175.
- [14] Shang T, Smith K A, Hatton T A. Photoresponsive surfactants exhibiting unusually large, reversible surface tension changes under varying illumination conditions[J]. Langmuir, 2003, 19(26):10764-10773.
- [15] 吕湘亮. 含二硒表面活性剂的合成及性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [16] 刘清斌. 光敏 Gemini 阳离子表面活性剂体系的光响应流变行为研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
- [17] Chen S, Zhang W, Wang C, et al. A recycled foam coloring approach based on the reversible photo-isomerization of an azobenzene cationic surfactant[J]. Green Chemistry, 2016, 18(14):3972-3980.

- [18] Zhao M, Gao M, Dai C, et al. Investigation on a novel photo-responsive system formed by n-methyl-n-cetylpyrrolidinium bromide and ortho-methoxycinnamic[J]. Journal of Molecular Liquids, 2016, 223:329-334.
- [19] Brown P, Hatton T A, Eastoe J. Magnetic surfactants[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2015, 20(3):140-150.
- [20] Brown Paul, Bushmelev A, Butts C P, et al. Magnetic control over liquid surface properties with responsive surfactants[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2012, 51(10):2414-2416.
- [21] Chu Z, Feng Y. Thermo-switchable surfactant gel[J]. Chemical Communications, 2011, 47(25):7191-7193.
- [22] JING L, WEIHONG Q, CHONGQIAO X. Synthesis and surface properties of a ph-regulated and ph-reversible anionic gemini surfactant[J]. Langmuir, 2014, 30(28): 8258-8267.
- [23] Brazdova B, Zhang N, Samoshin, V V, et al. trans-2-aminocyclohexanol as a ph-sensitive conformational switch in lipid amphiphiles[J]. Chemical Communications, 2008(39):4774-4776.
- [24] 梅平, 闵红博, 赖璐, 等. CO<sub>2</sub> 开关型表面活性剂的合成及应用研究进展[J]. 油田化学, 2016(03):564-570.
- [25] Liu Y, Jessop P G, Cunningham M, et al. Switchable surfactants[J]. Science, 2006, 313 (5789):958-960.
- [26] Kong Weiwei, Guo Shuang, Wu Shaoqi, et al. Redox-controllable interfacial properties of zwitterionic surfactant featuring selenium atoms[J]. Langmuir, 2016, 32(38): 9846-9853.
- [27] Ku Ti-Hsuan, Chien Miao-Ping, Thompson M P, et al. Controlling and switching the morphology of micellar nanoparticles with enzymes[J]. Journal of the American Chemical Society, 2011, 133(22):8392-8395.
- [28] BABIJ N R, MCCUSKER E O, WHITEKER G T, et al. NMR chemical shifts of trace impurities: Industrially preferred solvents used in process and green chemistry[J]. Organic Process Research & Development, 2016, 20(3):661-667.

## 致 谢

首先感谢我的母亲韦春花对我的支持。其次感谢我的导师陈近南对我的精心指导和热心帮助。接下来，感谢我的师兄茅十八和风际中，他们阅读了我的论文草稿并提出了很有价值的修改建议。

最后，感谢我亲爱的老婆们：双儿、苏荃、阿珂、沐剑屏、曾柔、建宁公主、方怡，感谢你们在生活上对我无微不至的关怀和照顾。我爱你们！