

授课日期

2026年3月9日

教案编号

1

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第一章 绪论		
授课学时	2节 ( ) ; 3节 ( ) ; 其它 ( <input checked="" type="checkbox"/> )		
课 型	理论 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) ; 实验 ( ) ; 见习 ( ) ; 实训 ( ) ; 其它 ( )		
教学目的	1.认识水的表面存在着一股收缩的力——表面张力, 表面张力可以改变。 2.了解生活中水的表面张力现象。 3.理解表面活性和表面活性剂的概念		
教学重点	表面张力的理解		
教学难点	表面活性和表面活性剂的区别与联系		
教学方法	讲授 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) ; 讨论 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) ; 指导 ( ) ; 示教 ( ) ; 其它 ( )		
电子教案	有 ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Microsoft PowerPoint ( ) ; Author ware ( ) ; 其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 ( <input checked="" type="checkbox"/> ) ; 模型 ( ) ; 标本 ( ) ; 实物 ( ) ; 音像 ( ) ; 其它 ( )		
教学过程 时间安排	1.界面和表面 2.表面张力 3.表面活性和表面活性剂 4. 表面活性的表征		
思 考 题	怎样验证水的表面张力?		
作 业	思考具有表面活性的物质就一定是表面活性剂		

## 第一章 绪论

### 教学目标:

#### 科学探究:

1. 细致观察水的表面张力现象,并能设计实验研究水的表面张力。
2. 作出科学预测并通过实验验证。
3. 进一步训练科学观察、实验、记录等科学素养。

#### 科学知识:

1. 认识水的表面存在着一股收缩的力——表面张力,表面张力可以改变。
2. 了解生活中水的表面张力现象。

#### 情感态度、价值观:

1. 培养学生细致观察、大胆预测、认真实验科学的习惯。
2. 体验大自然的奥秘,进一步热爱科学探究活动。

### 教学准备:

1. 收集水的表面张力现象视频及图片。
2. 分组材料:玻璃杯两个、曲别针、硬币(5分和1分)、滴管、洗洁精。

#### 教学过程:

##### 一、激趣导入

1.谈话:看到我们桌上的研究材料,聪明的同学一定能猜到我们今天的研究内容和水有关。说到水,大家一定不陌生,那么你们知道水的哪些特点呢?还知道水有什么特点吗?(大家的科学知识真不少!)

今天的我们还要继续来研究水的一个新的特点。如果不借助船、木筏等工具,你们能在水面上悠闲自在的散步吗?对,肯定不行,只有在一些武侠片中,我们才能看到一些轻功高手在水面上疾驰如飞,不过这都是虚构的。但是在自然界中却有一些动物能在水面上悠闲自在的散步,你们见过吗?想不想来看一下?

2.(出示:水黾等的视频及图片。)水黾的本领大吧!看来它可是真正的轻功高手了。水黾怎么可以在水面上而不沉下去呢?想不想揭开其中的奥秘?要揭开这个奥秘,不但要认真听讲,还要积极动脑思考,你们能做到吗?

##### 二、认识水的表面张力现象

师:老师想请同学们帮一个忙,把你们桌上的一个小量杯装满水,同学们能做到吗?

生:能

师:利用桌上的材料,你准备怎样装满呢?

生1:直接把大烧瓶的水倒入玻璃杯。

生2:用胶头滴管一滴一滴的往里滴。 生3:……

师:这些方法都能把杯子里装满水,老师给同学们个建议好不好?

生:好!

师:利用烧杯的尖嘴稳稳的往玻璃杯里面倒水,注意保持桌面的清洁。

学生分组装水,老师巡视指导。

师:告诉老师,你们杯子里的水装满了吗?

生:装满了。

师：大家发表下意见，你认为杯子里的水装到什么程度才算满？

生 1：快要流出来了。

生 2：再倒进去一点水就要流出来了。

生 3：水面都鼓起来了。

师：你确信你们杯子里的水都已经装满了吗？ 生：是的。

师：再也不能加了吗？

生：（有点迟疑，不敢发言）

师：如果不敢确认的话，可以用滴管在加一些。

生：（用胶头滴管再次滴加）

师：现在各组都确信杯子里装满水了吗？

生：现在可以确信了。

### 三、探究体验，解决问题

#### 1 杯子里能放曲别针吗？

##### (1) 提出问题

师：好，现在杯子里都装满水了，今天老师给同学们准备了一些曲别针，在水不外溢的情况下，你认为还可以放入曲别针吗？

生 1：可以 生 2：不可以

##### (2) 猜想假设

师：如果你们认为不能再放，请说出你的理由；

师：牛顿曾说过：“没有大胆的猜测，就没有伟大的发现。”。如果认为能放，请你大胆的预测一下杯子里最多能放多少枚曲别针？并将你们组猜测的结果写在表格里。

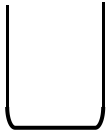
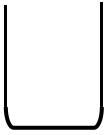
怎样才能知道你们的猜测是否准确？在做实验前，我们先来看这个活动记录表，这代表什么？

生：杯子

在实验时，请画出开始时和溢出前杯中水面的形状。

科学探究活动记录表

序号：

装满水的杯中加入曲别针的研究记录	
预测： 枚	实测： 枚
开始时杯中水面的形状 	溢出前杯中水面的形状 
交流：在实验研究中你们小组有什么发现？	

##### (3) 制定方案

师：那么在实验的过程中，我们还要注意些什么呢？

生 1：不能碰到桌子。

生 2：放的时候要小心。

生 3: 要边放边数放了多少枚。

师: 同学们说的很好, 老师也给同学们提几个建议好不好?

师: 1 各组同学由组长负责, 一枚一枚的轮流往里放, 找一个同学画出水面的形状变化。2 动作要轻, 最好竖着放, 手不要碰到水面。3、要小心的放, 更不能晃动桌子和杯子, 否则的话, 你的实验就失败了。还有我突然放到第 10 个, 水流出来了, 你说说, 我应记录几个?

生: 9 个

师: 明确要求和注意点了吗?

师: 能不能合作实验呀

师: 好, 记住了, 观察水杯口的形状要弯下腰来 (示范)。一定要先把现在杯口水面的形状画下来。

另外, 哪组完成了就静下来坐好, 我就知道你们已经完成实验了。

开始吧

#### (4) 实施探究

学生自由操作, 老师巡视指导, 时刻提醒学生注意观察水面的变化。

#### (5) 展示交流

师: 刚才, 大家实验时很认真, 观察得非常仔细。

师: 那么大家的预测准确吗? 最多可以放入多少枚曲别针? 哪个组愿意上来展示一下你们的研究成果? 并交流在实验中有什么发现?

师: 同样的杯子, 都装满了水, 为什么放的枚数不一样呢? (水没装满, 碰到了桌子, 水流了出来等) 通过对猜想和实际结果的研究, 可以发现猜想有时候不是很准确, 它需要经过实践验证的。

师: 在实验的过程中你发现水面有什么变化?

生 1: 水面鼓得很厉害。

生 2: 水面越来越鼓。

生 3: 水面高出杯子一大截, 但是水还是没有流出来

师: 观察到这种现象, 我想同学们心里一定会有疑问。谁来说说你的疑问? (会提问的孩子, 就是聪明的孩子。仔细想一想, 大胆地说出你的想法, 老师喜欢爱思考的同学。) 《老师有点不明白了呢, 为什么 (点拨: 为什么水面鼓起来却没有马上溢出来呢?) 》

## 2、硬币表面能容纳水滴的研究

师: 是啊! 为什么水面鼓起来水却没有马上溢出杯口呢? 我们继续研究来寻找其中的秘密。

师: (出示硬币) 这枚五分硬币, 我想用它来装水。请同学们猜想一下, 在 5 分的硬币上能装上水吗?

可以! 怎么装? 你有什么好办法? 用滴管滴上去? 试试! (师示范) 行啊! 你的办法真好! 如果 5 分的硬币能装水, 那它到底容纳多少滴水而不流出来呢? 你们想不想研究一下。

师: (出示探究卡) 会记录好你们的研究情况吗? 先把小组猜测的结果填在表格里。这个图形表示什么呢? 怎么观察硬币才是这样子的呢? 蹲下来侧面观察! 那么我们待会观察硬币水面的变化也要从侧面观察, 并水面的变化画下来。

师: 那么做这个研究, 需要注意些什么问题呢?

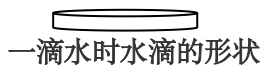
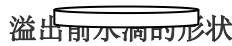
生: 滴水滴的时候要轻。(你很仔细!)

点拨: 至少记录滴一滴水时从侧面观察到水滴的形状以及水溢出之前的形状。

谈话: 小组内的同学要分工合作, 一位同学负责滴水, 其他同学分别数数及侧面观察水面的形状。

## 科学探究活动记录表

序号： \_\_\_\_

硬币装水研究记录	
预 测： ____ 滴	实 测： ____ 滴
 一滴水时水滴的形状	 溢出前水滴的形状
描述：用动作和语言来描述一下水的样子 解释：在小组内尝试用自己的语言来解释其中的原因	

师：哪个小组来给大家介绍一下你们组的研究情况？

师：你们和他的研究都类似吧？

师：好，谁能用身体语言来描述一下吗？

师：谁愿意用语言来描述一下水的形状

师：很形象，那为什么杯中的水面和硬币上的水滴高高鼓起却不溢出呢？

你们玩过氢气球吧？手一松，它就飞了。要使它不飞，该怎么办？

生：用手抓住

师：对呀，用力抓住它就不飞了。其实水之所以能高高鼓起而不溢出，这当中也有一种无形的力

师：那么这种力有什么特点呢

生：拉住水，使水不溢出

师：不错，也就是它能紧紧的拉住水（板书：拉紧）

那这种力迫使水的形状有没有发生变化呀？

生：使水向中间靠拢，像个球

师：你真善于观察，这种神奇的力，它不仅能拉紧水，还能使水抱成团。在科学上，我们把这种神奇的力称之为水的表面张力。（板书：表面张力）

在我们的生活中，你还知道那些现象体现了水的表面张力

生：叶片上的露珠/肥皂泡.....

（你真了不起！是一个善于观察生活的有心人！）老师为同学们搜集了一些图片，要不要看看？其实，我们生活中很早就利用到水的表面张力了！

水表面的张力可以把里面的水保护（包）起来，不让它流出，那它能把外面的物体托起来吗？老师这儿有一枚硬币，下面看老师是怎么样做？

现在你们想不想自己亲手来试试？动手之前，想一想，怎样才能够成功？

老师做示范，轻轻、慢慢、贴近杯边放

请按照原来的方法，先把另一个小量杯装满水，然后小组合作一块完成，让今天还没有操作的同学来做，如果他没做成功，小组成员可以帮帮他。

开始做吧，做成功了就把手高高举起来。（小组参与，帮助成功，然后展示方法，全体参与。）

你们组真棒。（观察此时的水面）

指导观察托硬币的水面。“硬币是托起来了，托起硬币的水面有没有变化？”画画水面压弯的样子吧（记录）

由此可见，水的表面张力不仅能保护里面的水不溢出来，也能托起比较轻的物体。

#### 四、演示破坏水的表面张力现象

谈话：科学真的很神奇吧！不过更神奇的还在后面呢？仔细观察，老师在刚才漂浮着硬币的杯中滴几滴洗洁精会怎样呢？谁来试试？

学生上台试验。

师：你观察到什么？

生：硬币沉下去了。

师：为什么会这样？原来是什么力量托住了硬币？

生：水的表面张力。

现在它下沉了，说明什么？是什么破坏了水的表面张力？

生：洗洁精。

师：原来是洗洁精破坏了水的表面张力，说明水的表面张力是可以被破坏的。那么水的表面张力是无限大的吗？

生：不是

师：只要有行动，就会有收获。通过今天的研究，同学们有什么收获？

生：认识了水的表面张力。

课后探究：

师：我们现在知道了水有表面张力现象，我们都知道水是一种液体，那么其它的液体如：牛奶等是否有表面张力呢？1、往装满水并尽可能地放进曲别针的杯子里放入洗衣粉等洗涤剂，情形会怎样呢？

反馈：学生对自己的猜测与结果有很大差别，感到奇怪，也更为感兴趣，所以实验做的很认真、细致。学生倾听习惯进步不小，同时善于发言，表达自己的看法大胆发言汇报实验结果。这一节课表面张力，在形式上和调动学生的积极能动性上做得不错，学生们很投入的进入了探究的课堂，并能充分的利用原有的知识，对新产生的认知矛盾进行分析理解，再通过实验的直观感知进一步的了解课题——水的表面张力，在教学中对于实验应充分放开手脚多让学生自己动手做，增强其思维的调动，会有更好的效果。

授课日期

2026年3月16日

教案编号

2

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第二章 表面活性剂类型及结构		
授课学时	2 节 ( )； 3 节 ( )； 其它 ( <input checked="" type="checkbox"/> )		
课 型	理论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 实验 ( )； 见习 ( )； 实训 ( )； 其它 ( )		
教学目的	1.了解表面活性剂的类型及其结构特点 2.掌握各种不同表面活性剂的适用范围。		
教学重点	表面活性剂的结构特点		
教学难点	表面活性剂的结构特点		
教学方法	讲授 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 讨论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 指导 ( )； 示教 ( )； 其它 ( )		
电子教案	有 ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Microsoft PowerPoint ( )； Author ware ( )； 其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 模型 ( )； 标本 ( )； 实物 ( )； 音像 ( )； 其它 ( )		
教学过程 时间安排	2. 阴离子表面活性剂 2. 阳离子表面活性剂 3. 两性表面活性剂 4. 非离子表面活性剂		
思考题	生活中使用的表面活性剂那些是阴离子型的？		

作 业	P17 1,3
-----	---------

## 第二章 表面活性剂的类型及结构

**表面活性剂**：是一类具有亲水性和亲油性相对平衡的不对称化合物，亲水性越弱，亲油性越强，则在水中表面活性越大。

**疏水作用**：亲油基在水中逃逸及相互缔合的趋势

**胶束化作用**：界面被表面活性剂吸附充满，水溶液本体相中表面活性剂疏水剂相互靠拢缔合成聚集体。这种表面吸附和胶束化作用的自发趋势反映了表面活性剂的自组装能力即表面活性。

表面活性剂分子一般有含碳长链的非极性亲油基团和极性亲水基团组成

**根据疏水基分类**：

碳氢链：直链烷基、支链或不饱和烷基、含芳香环或脂肪环的烷基（生物降解性较差）

聚醚（聚丙烯醚链）：易吸附在极性界面上，利于在极性溶剂中溶解

硅氧烷（聚硅氧烷链）：非碳链疏水基，水相和非水都有表面活性，价格高，降解性差

氟碳链

按亲水基分类：单一型、复合型

**按极性基团的解离性质分类**

1、阴离子表面活性剂：硬脂酸，十二烷基苯磺酸钠

2、阳离子表面活性剂：季铵化物

3、两性离子表面活性剂：卵磷脂，氨基酸型，甜菜碱型

4、非离子表面活性剂：脂肪酸甘油酯，脂肪酸山梨坦（司盘），聚山梨酯（吐温）

### 阴离子表面活性剂

在水中解离后，具有的表面活性片段是憎水性阴离子。

阴离子表面活性剂分为羧酸盐、硫酸酯盐、磺酸盐和磷酸酯盐四大类，具有较好的去污、发泡、分散、乳化、润湿等特性。广泛用作洗涤剂、起泡剂、润湿剂、乳化剂和分散剂。产量占表面活性剂的首位。

不可与阳离子表面活性剂一同使用，在水溶液中生成沉淀而失去效力。

### 羧酸盐阴离子表面活性剂

#### 肥皂

系高级脂肪酸的盐，通式： $(RCOO)_n M$ 。脂肪酸烃 R 一般为 11~17 个碳的长链，低于 10 水溶性过强，表面活性较弱。通过天然油脂皂化制备而成。微溶于冷水，迅速溶于热水，浓皂液冷却后不结晶，结成冻状物。常见有硬脂酸、油酸、月桂酸。根据 M 代表的物质不同，又可分为碱金属皂、碱土金属皂和有机胺皂。它们均有良好的乳化性能和分散油的能力。但耐硬水及电解质能力差，碱金属皂可被钙、镁盐破坏，电解质亦可使之盐析。水溶液呈弱碱性

碱金属皂：O/W      碱土金属皂：W/O      有机胺皂：三乙醇胺皂

#### N-羧乙基脂肪酰胺的盐

无毒，无刺激性，洗涤性、起泡性、抑酶性好。对硬水、酸敏感小于肥皂。

洗涤剂，油剂

#### 全氟代烷基羧酸盐

耐强酸，耐氧化还原，耐热表面活性比相应脂肪酸盐强有机溶剂中也有表面活性，价格高，降解性差。

含氟单体乳化剂，防油剂，抑制蒸发剂

#### 2、硫酸酯盐

### 脂肪醇硫酸酯盐/烷基磺酸盐

室温下制备，耐硬水泡沫性强，混少量脂肪醇泡沫性更强。无毒，有刺激性，热酸碱（70℃上）易水解

### 脂肪醇醚硫酸盐 AES

具有聚氧乙烯醚 PEO 和硫酸酯盐两种亲水基的复合型表面活性剂。耐硬水、电解质、起泡力、洗涤能力（ $m=2-3$ ）优于 AS。PEO 的引入提高粘度，盐大幅提高

## 3、磺酸盐

### 烷基苯磺酸盐

耐酸碱耐硬水性好于肥皂，水 aq 中性。ABS 降解性差，LAS 有改善。洗衣粉，洗洁精，乳化剂，其钙、钠盐用于润滑油添加剂

### 烷基磺酸盐 AS

水溶液粘度低，皮肤亲和性好，降解性比相似链长的 LAS 好  
洗涤剂

### 脂肪酸亚乙基磺酸盐

水溶性差，不耐硬水，降低水溶液表面张力能力大，出色泡沫性、洗涤性、分散性能，热酸碱中易水解（ $ph<6,>8$ ）

洗涤剂，去油污剂，硬水起泡剂

### 烯基磺酸盐 AOS

水溶性好出色泡沫性，无刺激，降解性比 LAS 好  
洗涤剂、硬水起泡剂

## 4、磷酸酯盐

### 脂肪醇磷酸酯盐/烷基磷酸酯盐 MAP

低毒性、刺激性，抗静电作用，属中等表面活性剂，价格高，游离酸溶于水和有机溶剂，钠盐则不溶于非极性溶剂。

乳化剂、洗面乳、香波、抗静电剂

### 脂肪醇醚磷酸酯盐

聚氧乙烯醚和磷酸酯盐的复合表面活性剂，水溶性耐硬水性更好  
同 MAP，用于高盐、强碱介质。

## 阳离子表面活性剂

该类表面活性剂起作用的部分是阳离子，因此称为阳性皂。亲水基大部分是铵盐（长链烷基胺和季铵盐），其分子结构主要部分是一个五价氮原子，所以也称为季铵化合物。其特点是水溶性大，在水中吸附到固/水表面上，常被用作平滑剂，抗静电剂，防水剂。在酸性与碱性溶液中较稳定，具有良好的表面活性作用和杀菌作用（吸附正电荷使细胞变异）。常用品种有苯扎氯铵（洁尔灭）和苯扎溴铵（新洁尔灭）等。

### 1、胺及其盐

#### 长链烷基胺及其盐

水溶性差，碱性介质中易形成胺盐，溶解度降低，活性离子在  $ph>7$  时为非离子，在  $ph<7$  为阳离子，具有  $ph$  值敏感性，容易在负电荷固体表面吸附，也易去除。

柔软剂，抗静电剂等纺织助剂，长链胺易在表面形成定向吸附的疏水膜，阻断腐蚀，沥青粘合增强剂，浮选剂，原、位乳化剂

#### 聚氧乙烯醚化的长链胺及其盐

长链胺与聚氧乙烯醚的复合型表面活性剂， $ph$  敏感性，在碱介中水溶性更好。其无机酸或小分子有机酸盐都溶于水，长链则油溶性。

粘胶生产中改善再生纤维强度；乳化剂

### 2、季铵盐

#### 长链季铵盐

在任意  $ph$  中都表现为阳离子，一旦吸附基质表面难除去。

柔软剂，染色助剂，平滑剂

#### 聚氧乙烯醚化的季铵盐

季铵盐与 PEO 的复合表面活性剂，长链季铵盐特性，耐硬水耐电介质较强

抗静电剂，匀染剂，柔软剂，防锈剂，肥料防结块剂，分散剂，极性有机物 o/w 型的乳化剂

### 两性离子表面活性剂

分子结构中同时具有正、负电荷基团，在不同 pH 值介质中可表现出阳离子或阴离子表面活性剂的性质 ph 敏感性，与所有表面活性剂配伍良好，吸附在带正/负电荷固液表面，不形成疏水膜。不能溶解在包括乙醇的有机溶剂中。

#### 1、氨基酸型：

**氨基酸型：** R-NH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup>

#### **N-烷基-β-氨基丙酸**

IEP 在 pH=4 附近，在酸碱性介质中分别呈阳阴离子性，能溶于强酸、碱，能耐电解质，有机溶剂中溶解度低，碱性介质中乳化和起泡性能比酸性介质强。刺激性和毒性小。

两性离子，易吸附各种固液表面，柔软剂，抗静电剂，毛发调理剂，金属防腐剂

#### **N-烷基氨基二丙酸**

#### 2、甜菜碱型：R-N+(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-COO<sup>-</sup>。

#### **N-烷基甜菜碱**

在碱性水溶液中呈阴离子表面活性剂的性质，具有很好的起泡、去污作用

在酸性溶液中则呈阳离子表面活性剂的性质，具有很强的杀菌能力，润湿性和泡沫性优于碱性介质。Ph=7 时刺激性最小。易吸附于负电荷表面。不受 ph 影响。

柔软剂

#### **磺基甜菜碱**

Ph 不敏感，吸附在带电表面不形成疏水膜。水溶性不如羧基或硫酸基同系物，在疏水链中引入极性基改善，使浓酸碱盐中溶解度更高，刺激性更低，降解性更好

渗透剂，分散剂，洗涤剂

#### 3、咪唑啉型

取代基是 H 则完全 ph 敏感型表面活性剂

取代基是 -ch<sub>3</sub> 则接近 N-烷基甜菜碱，在酸介中为阳离子，碱介中为两性离子部分 ph 敏感性。能与所有表面活性剂复配，溶于高浓度酸碱盐水溶液，取代基有羧基，刺激性较小。

织物柔软剂，化妆品

### 非离子表面活性剂

水中不电离，配伍性良好，耐硬水耐电解质耐金属离子能力强，在水中表面活性高，随温度上升而增高，不仅能溶于水，还溶于有机溶剂，甚至烃类。

通常是非离子型，带电界面无强的吸附作用

#### 1、多元醇

亲水基为多元醇，大多为葡萄糖、蔗糖及山梨醇等糖类，通过醇醚、酚醚、酯等化学键与疏水基连接，水溶性较差，具有强表面活性，毒性极低，环境友好，可生物降解。

**蔗糖酯：**HLB (5~13) 分布较宽，O/W 或 W/O 乳化剂、分散剂

Cmc 小，降低表面张力能力大，泡沫性差，安全无毒无臭无异味无刺激无污染环境友好型表面活性剂。白色粉状、块状、蜡状固体，易溶于乙醇、丙酮等极性有机溶剂，水溶性好于缩水山梨醇酯。

**脂肪酸山梨坦 (Span)：** W/O 乳化剂

合成产物为混合物。缩水山梨醇酯为油性，难单独使用

#### **烷基聚葡萄糖苷 APG**

降低表面张力，乳化、增溶、分散性极佳，泡沫、润湿、去污适中，安全无毒无刺激

#### 2、聚氧乙烯醚型：Myrij(卖泽类，长链脂肪酸酯) ;Brij (脂肪醇酯)

亲水基是聚氧乙烯醚或聚乙二醇，亲水性与乙氧基 EO 聚合度成正比。聚氧乙烯醚基与水成的氢键随温度升高易于脱氢键，水中溶解度随温度升高而降低，表面活性增大。酚醚类化性稳定，可调节亲水亲油性，但生物降解性差，毒性大。

#### **脂肪醇聚氧乙烯醚**

刺激性、毒性低，与脂肪醇聚氧乙烯醚比，生物降解较好，稳定性高，水溶性好

W/O 乳化剂；润湿剂；洗涤剂；渗透剂 JFC；平平加 O；

### **脂肪酸聚氧乙烯醚酯**

润湿性，去污性，发泡力，耐酸碱碱性较前者差，良好的乳化、润湿、分散、悬浮能力。

平滑添加剂，柔软剂，抗静电剂，中性乳化

**聚醚：**随 M 和聚氧乙烯醚段的增加，润湿性、去污力、分散性提高，起泡性差，乙氧基少则几乎不起泡，增加或者 T 升高，起泡性增大，但稳泡性不佳。

### **聚山梨酯 (Tween) ： 乙氧基化脂肪酸缩水山梨醇酯**

以 Span 为原料，环氧乙烷开环加成制得，亲水性大大提高

HLB 值 1.8-16.7，可与 Span 系列复配不同 HLB 值水溶液

### **其他类型表面活性剂**

#### **高分子表面活性剂**

水溶性高分子表面活性剂

两亲性高分子表面活性剂

#### **偶联型表面活性剂**

#### **反应性表面活性剂**

乳液聚合

表面交联

表面改性

#### **微生物表面活性剂**

#### **绿色表面活性剂**

降低表面活性剂刺激性

减少表面活性剂毒性

改善表面活性剂生物降解性

授课日期

2026年3月30日

教案编号

3

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第三章 特种表面活性剂		
授课学时	2节 ( )；3节 ( )；其它 ( <input checked="" type="checkbox"/> )		
课 型	理论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )；实验 ( )；见习 ( )；实训 ( )；其它 ( )		
教学目的	1.了解各种特种表面活性剂结构特点 2.掌握各种不同特种表面活性剂的特殊用途。		
教学重点	特种表面活性剂的结构特点		
教学难点	特种表面活性剂的不同用途		
教学方法	讲授 ( <input checked="" type="checkbox"/> )；讨论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )；指导 ( )；示教 ( )；其它 ( )		
电子教案	有 ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Microsoft PowerPoint ( )；Author ware ( )；其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 ( <input checked="" type="checkbox"/> )；模型 ( )；标本 ( )；实物 ( )；音像 ( )；其它 ( )		
教学过程 时间安排	3. 含氟表面活性剂 2. 含硅表面活性剂 3. 高分子表面活性剂 4. 生物表面活性剂		
思考题	含氟表面活性剂有什么特殊用途？		
作 业	P33 1,5		

## 第三章 特种表面活性剂

### 1 含氟表面活性剂的结构、特性和分类

#### 1.1 含氟表面活性剂的结构

碳氢表面活性剂中的 C-H 链上的 H 原子被 F 原子取代, 成为碳氟表面活性剂。碳氢链中的氢原子全部被氟取代的称为全氟表面活性剂, 部分被氟取代的称为部分氟表面活性剂, 目前应用的含氟表面活性剂大多是全氟表面活性剂。随着碳氢链转变成碳氟链, 物理化学性质呈现出明显的差异, 比如含氟表面活性剂合成较为困难; 在各类表面活性剂中, 含氟表面活性剂具有最佳的活性等。

#### 1.2 含氟表面活性剂的特性

由于含氟表面活性剂的特殊结构, 使其表现出其他表面活性剂所没有的一些特性, 常被概括为“三高”、“两憎”, 即高表面活性、高耐热稳定性及高化学稳定性; 它的含氟烷基既憎水又憎油。

表面活性剂的效果与表面性质和表面活性剂的结构密切相关, 研究表明, 含氟表面活性剂在降低氟碳化合物 / 水界面张力时尤为出色[1]。含氟表面活性剂是迄今为止所有表面活性剂中表面活性最强的一种, 由于其临界胶束浓度很低(10-5mol / L ~ 10-6mol / L), 用量比碳氢表面活性剂小得多, 在极低的浓度下(普通表面活性剂的 1 / 10 到 1 / 100)就能使水的表面张力降至 20 mN / m 以下, 新型的氟季铵盐双子表面活性剂甚至能使水的表面张力降至 13.7 mN / m。含氟表面活性剂有很高的耐热性, 如固态全氟辛基磺酸钾在 420°C 加热 5 h 不分解, 因而可在 300°C 以上使用, 这是一般表面活性剂远不及的。含氟表面活性剂可抵抗强氧化剂、强酸和强碱的作用, 表现出极高的化学稳定性。

研究表明, 含氟表面活性剂的高表面活性是由于其分子间的范德华力小造成的, 表面活性剂分子从水溶液中移至溶液表面所需的张力小, 导致了表面活性剂分子在溶液表面大量的聚集, 形成强烈的表面吸附, 而这类化合物不仅对水的亲和力小, 而且对碳氢化合物的亲和力也较小, 因此形成了既憎水又憎油的特性, 使其可应用于不同场合。

#### 1.3 含氟表面活性剂的分类

与普通表面活性剂类似, 含氟表面活性剂依其结构可分为阴离子型、阳离子型、非离子型以及两性离子型 4 种类型。

阴离子含氟表面活性剂在溶液中解离后, 根据解离出的阴离子结构不同, 又可分为羧酸盐型(RFCOO-M<sup>+</sup>)、磺酸盐型(RfSO<sub>3</sub>-M<sup>+</sup>)、硫酸酯盐型(RfOSO<sub>3</sub>-M<sup>+</sup>)和磷酸酯盐型(RfOP(O)<sub>2</sub>-2M<sup>+</sup>)等几大类。其中 R 为氟碳疏水基, M<sup>+</sup>为无机或有机反离子。有些阴离子含氟表面活性剂含有非离子的聚氧乙烯基片段以增加含氟表面活性剂的水溶性及其与阳离子或两性表面活性剂的兼容性。

阳离子含氟表面活性剂主要分为胺盐型和季铵盐型两大类, 目前对这两类含氟表面活性剂的研究较多。其中季铵盐型阳离子含氟表面活性剂不受 pH 影响, 在酸碱介质中均可使用, 故其用途较为广泛。但阳离子含氟表面活性剂对某些阴离子敏感, 因而不宜与带负电的离子如阴离子表面活性剂或阴离子染料混合使用。

非离子含氟表面活性剂主要是具有活泼氢的含氟憎水性原料, 如含氟的长链脂肪醇、烷基酚、脂肪酸、烷基胺、烷基醇酰胺、烷基硫醇等, 在酸或碱催化剂参与下与环氧乙烷加成制得。其中含硅特种非离子氟表面活性剂既有较高的表面活性, 又有较低的表面张力, 使用效果颇佳, 也是目前研究的热点。非离子含氟表面活性剂由于与阴离子、阳离子及两性表面活性剂的相容性较好, 广泛应用于工业生产中。但由于非离子含氟表面活性剂中的聚氧乙烯亲水基比羧酸盐、磺酸盐等阴离子基团的化学稳定性差, 故不能在含强氧化剂的溶液中使用。

两性含氟表面活性剂的亲水基同时含有碱性基阳离子和酸性基阴离子, 易溶于水, 在较浓酸、碱及无机盐溶液中也能溶解, 不与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>及其他重金属离子作用。它与其他类型表面活性剂相容性好, 而且既可被带正电荷的表面吸附, 又可被带负电荷的表面吸附, 因此两性含氟表面活性剂的应用非常广泛。含氟表面活性剂常与碳氢表面活性剂混合使用以提高其性能[14-16], 但有些情况下, 由于碳氟链与碳氢链的混合性较差, 导致其混合体系中存在两种胶束。Nordstierna 等[17]和 Blance 等[18]分别采用不同方法实现了两种表面活性剂混合形成单一胶束, 改善了表面活性剂的性能, 也拓展了其应用范围。

## 2 含氟表面活性剂的合成

含氟表面活性剂的合成一般分 3 步[19]: 首先合成含 6~10 个碳原子的含氟烷基化合物, 再制成易于引进各种亲水基团的含氟中间体, 最后引入各种亲水基团。其中含氟烷基化合物的合成是制备含氟表面活性剂的关键, 目前含氟烷基化合物工业化生产方法主要有电解氟化法、氟烯烃调聚法和氟烯烃齐聚法。

### 2.1 电解氟化法

电解氟化法是 20 世纪 40 年代由美国人 J.H.Simons 研制成功的, 由 3M 公司最早应用于工业化生产, 该法工艺成熟, 应用至今改变不大。它是通过电解产生的活泼氟原子直接置换原料的氢原子和氯原子而完成的氟化反应。典型的电解氟化的例子是烷基酰氯和烷基磺酰氯分别在无水氟化氢中电解, 生成全氟烷基酰氟和全氟烷基磺酰氟, 反应式如下:

由此法制备的全氟烷基酰氟以及全氟烷基磺酰氟, 经水解、中和可得相应的酸和盐, 进一步反应可得全氟烷基酰氟衍生物或全氟烷基磺酰氟衍生物——阳离子或非离子含氟表面活性剂。

电解氟化法的最大优点在于反应一步完成, 过程简单, 但其成本高, 用电量大, 需专门的电解设备, 而且反应中反应物的裂解、环化、重排现象严重, 副产物多, 产率较低。

### 2.2 氟烯烃调聚法

氟烯烃调聚法利用全氟烷基碘等物质作为端基物, 调节聚合四氟乙烯等含氟单体制得低聚合的含氟烷基化合物。典型的氟烯烃调聚反应如 DuPont 公司用五氟碘乙烷作端基物对四氟乙烯在加热加压条件下引发链锁反应:

通过调聚法生成全氟烷基碘化物, 再引入各种可溶性基团即可制得含氟表面活性剂, 其代表性的合成反应如下:

目前国内外许多大公司都用此法生产含氟表面活性剂, 制取的全氟烷基基为直链结构, 表面活性高, 但得到的产物往往是不同链长的化合物的混合物。

### 2.3 氟烯烃齐聚法

氟烯烃齐聚法制备含氟烷基中间体是 20 世纪 70 年代发展起来的, 它利用氟烯烃在非质子性溶剂中发生齐聚反应得到高支链、低聚合度全氟烯烃齐聚物。

#### 2.3.1 四氟乙烯的齐聚反应

四氟乙烯在阴离子催化作用下可得到不同聚合度的小分子质量齐聚物, 聚合度以 4~6 为主, 其中五聚体所占比例最大。(n=4~7)四氟乙烯五聚体分子中与双键碳原子直接相连的氟原子在碱性介质中可与亲核试剂发生取代反应, 由此合成一系列的含氟表面活性剂。

#### 2.3.2 六氟丙烯的齐聚反应

以六氟丙烯进行齐聚反应可得到以二聚体和三聚体为主的产物: (n=2, 3)

六氟丙烯齐聚物分子中与双键碳原子直接相连的氟原子较活泼, 在极性溶剂中很容易与亲核试剂发生取代反应, 引入中间体并进而引入亲水基制成含氟表面活性剂。

#### 2.3.3 六氟丙烯环氧化物的齐聚反应

六氟丙烯环氧化物可经氟阴离子催化齐聚生成六氟丙烯环氧化物的齐聚物, 产物多为 2~6 聚体的混合物:

六氟丙烯环氧化物的齐聚物因含有酰氟官能团, 可发生水解、氨解、醇解等多种反应, 从而生成多种含氟表面活性剂。

齐聚法虽然起步较晚, 但生产成本低, 产品的氟烯烃部分为支链结构, 性能不及前面两种方法制得的产品。

## 3 含氟表面活性剂的应用

含氟表面活性剂在化学、生物、医药、机械、纺织、电气、造纸、颜料涂料、油墨、玻璃陶瓷、冶金、燃料、皮革、感光材料、建筑、石油和消防等众多工业领域都有十分广泛的用途。

### 3.1 在石油工业中的应用

含氟表面活性剂能提高和改善地层岩石的润湿性、渗透性、扩散性以及原油的流动性，可以进一步提高驱油效率，使得它在三次采油中有巨大的潜力，现在研究较多的主要是在活性水驱、微乳液驱和泡沫驱油等方面。也有文献介绍，一些含氟表面活性剂可作为原油破乳剂，使其吸附在油水界面上，降低膜强度，从而实现原油破乳。另外，含氟表面活性剂也可以用作采油酸化压裂液、助排剂，用于提高油、气井的产出率[20]。

目前含氟表面活性剂在石油工业中用作驱油剂的技术仍不成熟，受到多方面限制，国内市场上含氟表面活性剂在油田方面的应用实际上是避开了其憎油性，而利用其耐强酸强碱的性质。

### 3.2 在消防领域的应用

含氟表面活性剂有极强的表面活性，可明显降低体系的表面张力，这使其在消防领域的应用有着不可替代的地位，特别是用作灭火剂中的添加剂，可大大提高灭火效率。因此，含氟表面活性剂作为新型的灭火剂正日益受到重视。

蛋白泡沫灭火剂由于原料来源丰富、成本低廉而应用历史长久，但蛋白泡沫稳定性与流动性较差，难以迅速覆盖火源，灭火效果不好，特别是对油类火灾的灭火效果差，且耐复燃性不好，而用含氟表面活性剂可改进上述缺点。在普通蛋白灭火剂中加入质量分数 0.005% ~ 0.05% 的阴离子或非离子型含氟表面活性剂[21]，即可制得氟蛋白泡沫灭火剂。由于含氟表面活性剂的加入，降低了蛋白泡沫体系的表面张力，提高了泡沫的流动性，使其灭火速度提高 3~4 倍。含氟蛋白泡沫灭火剂还可与干粉同时使用(普通泡沫灭火剂与干粉同时使用时泡沫很快被破坏消失)，大大提高灭火效能。目前，氟蛋白泡沫灭火剂已广泛应用于油库、炼油厂、加油站和油船等场所的灭火。含氟表面活性剂的另一个重要用途是在轻水泡沫灭火剂中的应用。由于它能把水的表面张力降至很低，以致水溶液可在油面上铺展形成一层膜，这种含氟表面活性剂的水溶液俗称“轻水”，将“轻水”制成泡沫，即为轻水泡沫灭火剂。在目前用于扑灭油类火灾的灭火剂中，轻水泡沫灭火剂由于其轻水及泡沫的双重灭火作用而具有最佳灭火效果，而且轻水泡沫灭火剂中 97% 以上的组分为水，这使得它成为国际范围内的“淘汰哈龙行动”中作为哈龙灭火剂的理想替代品，成为国际上重点发展的灭火剂。

另外，含氟表面活性剂也可用于抗复燃干粉灭火剂、普通化学泡沫灭火剂、凝胶灭火剂以及水乳液灭火剂中。随着含氟表面活性剂工业的飞速发展，开发应用于大面积油类火灾和极性溶剂火灾的灭火剂越来越被人们重视。

### 3.3 在生物医药领域的应用

囊泡是表面活性剂在水溶液中自发形成的具有双层封闭结构的分子有序组合体之一，由于其特殊的结构和性质，使之成为最好的生物膜模型体系和发展仿生技术的模拟体系，可用于生物膜模拟、药物释放、催化、提供反应的微环境等。

随着囊泡理论的发展，人们对研究合成表面活性剂形成囊泡也越来越感兴趣，其中，由于含氟表面活性剂具有表面张力小、与碳氢胶束混溶少以及能形成较大的囊泡等优点，使其相关的研究倍受关注。

与普通表面活性剂相比，含氟表面活性剂更易形成双膜结构，并提高膜的致密性，使膜构成的囊泡更稳定，而且囊泡的内相具有更好的疏水疏油特性。由于疏水疏油，内相的药物就很难从囊泡内部扩散出来，这使得含氟表面活性剂囊泡在药物包裹方面具有良好的应用前景。但含氟表面活性剂一般比普通表面活性剂的毒性要强，这也限制了其在生物医药领域的应用。曾有人[24]以天然生物材料为原料合成含氟表面活性剂，已经取得了一些进展，为解决这种问题探索出了一个方向。

授课日期

2026年4月13日

教案编号

4

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第四章 表面活性剂在溶液中的状态		
授课学时	2节 ( )；3节 ( )；其它 (√)		
课 型	理论 (√)；实验 ( )；见习 ( )；实训 ( )；其它 ( )		
教学目的	1.了解各种特种表面活性剂在溶液中的结构特点 2.掌握不同表面活性剂在溶液中的不同状态		
教学重点	掌握不同表面活性剂在溶液中的不同状态		
教学难点	掌握不同表面活性剂在溶液中的不同状态		
教学方法	讲授 (√)；讨论 (√)；指导 ( )；示教 ( )；其它 ( )		
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint ( )；Author ware ( )；其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 (√)；模型 ( )；标本 ( )；实物 ( )；音像 ( )；其它 ( )		
教学过程 时间安排	第1节 表面活性剂分子的有序组合与有序溶液 第2节 表面活性剂胶束与临界胶束浓度 第3节 胶束的形状、大小及在水溶液中的影响因素 第4节 表面活性剂化学结构与临界胶束浓度 第5节 表面活性剂非水溶液与反胶束		
思考题	洗洁精中的表面活性剂在水中呈现什么状态		
作 业	P65 1,5		

## 第四章 表面活性剂在溶液中的状态

溶液和胶体是物质的不同存在形式，在自然界中普遍存在，与工农业生产以及人类生命活动过程有着密切的联系。广大的江河湖海就是最大的水溶液，生物体和土壤中的液态部分大都为溶液或胶体。溶液和胶体是物质在不同条件下所形成的两种不同状态。例如 NaCl 溶于水就成为溶液，把它溶于酒精则成为胶体。那么，溶液和胶体有什么不同呢？它们各自又有什么样的特点呢？要了解上述问题，需要了解有关分散系的概念。

### 2.1 分散系及其分类

#### 2.1.1 分散系的概念

一种或几种物质分散在另一种物质里所形成的系统称为分散系统，简称分散系。例如粘土分散在水中成为泥浆，水滴分散在空气中成为云雾，奶油、蛋白质和乳糖分散在水中成为牛奶等都是分散系。在分散系中，被分散的物质叫做分散质（或分散相），而容纳分散质的物质称为分散剂（或分散介质）。在上述例子中，粘土、水滴、奶油、蛋白质、乳糖等是分散质，水、空气就是分散剂。分散质和分散剂的聚集状态不同，分散质粒子大小不同，分散系的性质也不同。我们可以按照物质的聚集状态或分散质颗粒的大小将分散系进行分类。

#### 2.1.2 分散系的分类

物质一般有气态、液态、固态三种聚集状态，若按分散质和分散剂的聚集状态进行分类，可以把分散系分为九类，见表 2-1。

表 2-1 分散系分类（一）

分散质	分散剂	实例
固	液	糖水、溶胶、油漆、泥浆
液	液	豆浆、牛奶、石油、白酒
气	液	汽水、肥皂泡沫
固	固	矿石、合金、有色玻璃
液	固	珍珠、硅胶、肌肉、毛发
气	固	泡沫塑料、海绵、木炭
固	气	烟、灰尘
液	气	云、雾
气	气	煤气、空气、混合气

若按分散质粒子直径大小进行分类，则可以将分散系分为三类，见表 2-2。

表 2-2 分散系分类 (二)

类 型	粒子直径/nm	分散系名称	主要特征	
分子、离子分散系	< 1	真溶液	最稳定, 扩散快, 能透过滤纸及半透膜, 对光散射极弱。	单 相 系 统
胶体分散系	1 ~ 100	高分子溶液	很稳定, 扩散慢, 能透过滤纸及半透膜, 对光散射极弱, 粘度大。	
		溶胶	稳定, 扩散慢, 能透过滤纸, 不能透过半透膜, 光散射强。	多 相 系 统
粗分散系	> 100	乳状液 悬浊液	不稳定, 扩散慢, 不能透过滤纸及半透膜, 无光散射	

分子与离子分散系统中, 分散质粒子直径 $<1\text{nm}$ , 它们是一般的分子或离子, 与分散剂的亲和力极强, 均匀、无界面, 是高度分散、高度稳定的单相系统。这种分散系统即通常所说的溶液, 如蔗糖溶液、食盐溶液。

胶体分散系中, 分散质粒子直径为  $1 \sim 100\text{nm}$ , 它包括溶胶和高分子化合物溶液两种类型。一类是溶胶, 其分散质粒子是由许多一般的分子组成的聚集体, 这类难溶于分散剂的固体分散质高度分散在液体分散剂中, 所形成的胶体分散系称为溶胶。例如氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶、碘化银溶胶、金溶胶等。溶胶中, 分散质和分散剂的亲和力不强, 不均匀, 有界面。故溶胶是高度分散, 不稳定的多相系统。由于亲和力不强, 故又称为疏液溶胶 (或憎液溶胶)。另一类是高分子化合物溶液, 如淀粉溶液、纤维素溶液、蛋白质溶液等。高分子溶液中, 分散质粒子是单个的高分子, 与分散剂的亲和力强, 故高分子溶液是高度分散、稳定的单相系统。高分子溶液在某些性质上与溶胶相似。由于高分子粒子与溶剂的亲和力强, 故又称为亲液溶胶。

粗分散系中, 分散质粒子直径 $>100\text{nm}$ , 用普通显微镜甚至肉眼也能分辨出, 是一个多相系统。按分散质的聚集状态不同, 粗分散系又可分为两类: 一类是液体分散质分散在液体分散剂中, 称为乳状液, 如牛奶。另一类是固体分散质分散在液体分散剂中, 称为悬浊液, 如泥浆。由于粒子大, 容易聚沉, 分散质也容易从分散剂中分离出来, 故粗分散系统是极不稳定的多相系统。

以上三类分散系之间虽然有明显的区别, 但没有明显的界线, 三者之间的过渡是渐变的, 某些系统可以同时表现出两种或者三种分散系的性质, 因此以分散质粒子直径大小作为分散系分类的依据是相对的。

本章将重点讨论溶液和胶体分散系的一些性质。

## 2.2 溶液的浓度

溶液的浓度是指一定量溶液或溶剂中所含溶质的量。由于“溶质的量”可取物质的量、质量、体积, 溶液的量可取体积, 溶剂的量常可取质量、体积等, 所以在实际生活中我们所遇到的浓度的表示方法是多种多样的<sup>[1]</sup>。下面重点介绍几种常用的浓度表示方法。

### 2.2.1 物质的量及物质的量浓度

物质的量是国际单位制 SI 规定的一个基本物理量, 用来表示系统中所含基本单元的量, 用符号“ $n$ ”表示, 其单位为摩尔 (简称摩), 符号 mol。摩尔是一系统物质的物质的量, 该系统中所包含的基本单元数与  $0.012\text{kg } ^{12}\text{C}$  的原子数目相等时, 其物质的量为  $1\text{mol}$ 。 $1\text{mol } ^{12}\text{C}$  所含的原子数, 叫阿佛加德罗常数, 用“ $N_A$ ”表示, 其数值为  $6.02 \times 10^{23}$ 。因此, 1 摩尔任何物质, 均含有  $N_A$  个基本单元。在使用物质的量时, 基本单元应予指明, 它可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子, 也可以是这些微粒的特定组合。基本单元要求用加圆括号的化学式 (或化学式的组合) 表示, 而不宜用中文名称。例如“1 摩尔氢”的质量多大? 这句话的含义较模糊。这里所指的氢到底是氢气 ( $\text{H}_2$ ) 还是氢原子 (H)? 前者的质量比后者大一倍, 因此,  $1\text{molH}_2$  相当于  $2\text{molH}$ 。当基本单元为微粒特定组合时, 通常用加号连接, 例如  $4\text{mol} (\text{H}_2 + 0.5\text{O}_2)$  就是  $4\text{molH}_2$  和  $2\text{molO}_2$  的特定组合。再如, 求

$\text{KMnO}_4$  的物质的量时, 若分别用  $\text{KMnO}_4$  和  $\frac{1}{5}\text{KMnO}_4$  作基本单元, 则相同质量的  $\text{KMnO}_4$  其物质的量之间有如下关系:

$$n(\text{KMnO}_4) = \frac{1}{5} n(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 5n (5\text{KMnO}_4)$$

可见, 基本单元的选择是任意的, 它既可以是实际存在的, 也可以根据需要而人为设定。

$1\text{mol}$  物质的质量称为该物质的“摩尔质量”, 符号为  $M$ , 单位为  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 常用单位为  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。例如  $1\text{mol } ^{12}\text{C}$  的质量是  $0.012\text{kg}$ , 则  $^{12}\text{C}$  的摩尔质量  $M(\text{C}) = 12 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

任何分子、原子或离子的摩尔质量, 当单位为  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  时, 数值上等于其相对原子质量、相对分子质量或离子式量。若用  $m$  表示 B 物质的质量, 则该物质的物质的量为:

$$n_B = \frac{m}{M_B} \quad (2-1)$$

物质的量浓度, 是指单位体积溶液中所含溶质 B 的物质的量, 以符号  $c_B$  表示。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (2-2)$$

式中,  $n_B$  表示溶液中溶质 B 的物质的量,  $V$  表示溶液的体积, B 是溶质的基本单元。 $c_B$  的 SI 单位为摩尔每立方米 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ), 法定单位为摩尔每升 ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

例 2-1 将  $36\text{g}$  的  $\text{HCl}$  溶于  $64\text{gH}_2\text{O}$  中, 配成溶液, 所得溶液的密度为  $1.19\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  求  $c(\text{HCl})$  为多少?

解: 已知  $m(\text{HCl}) = 36\text{g}$      $m(\text{H}_2\text{O}) = 64\text{g}$      $d = 1.19\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$   
 $M(\text{HCl}) = 36.46 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,

$$m(\text{HCl}) = 1.19\text{g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 1000\text{mL} \times \frac{36\text{g}}{36\text{g} + 64\text{g}} = 428.4\text{g}$$

$$\text{由 } n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad c_B = \frac{n_B}{V} \quad c_B = \frac{m_B}{M_B \cdot V}$$

$$\text{则 } c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot V} = \frac{428.4\text{g}}{36.46\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.0\text{L}} = 11.76\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

例 2-2 用分析天平称取 1.2346g  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  基准物质, 溶解后转移至 100.0mL 容量瓶中定容, 试计算  $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$  和  $c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$

$$\text{解: 已知 } m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1.2346\text{g} \quad M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294.18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$M(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{1}{6} \times 294.18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 49.03\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V} = \frac{1.2346\text{g}}{294.18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100.0\text{mL} \times 10^{-3}} = 0.04197\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{M(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot V} = \frac{1.2346\text{g}}{49.03\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100.0\text{mL} \times 10^{-3}} = 0.2518\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \quad n(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$$

由于溶液的体积随温度而变, 导致“物质的量浓度”也随温度而变。为避免温度对数据的影响, 常使用不受温度影响的浓度表示方法, 如质量摩尔浓度, 质量分数等。

### 2.2.2 质量摩尔浓度

1000g 溶剂中所含溶质 B 的物质的量, 称为溶质 B 的质量摩尔浓度, 用符号  $b_B$  表示, 单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。表达式为:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (2-3)$$

例 1-3 50g 水中溶解 0.585g NaCl, 求此溶液的质量摩尔浓度。

解: NaCl 的摩尔质量  $M(\text{NaCl}) = 58.44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\begin{aligned} b(\text{NaCl}) &= \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} \\ &= \frac{0.585\text{g}}{58.44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 50\text{g} \times 10^{-3}} = 0.2\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

质量摩尔浓度与体积无关, 故不受温度变化的影响, 常用于稀溶液依数性的研究。对于较稀的水溶液来说, 质量摩尔浓度近似地等于其物质的量浓度。

### 2.2.3 摩尔分数

在一物系中, 某物质 i 的物质的量  $n_i$  占整个物系的物质的量  $n$  的分数称为该物质 i 的摩尔分数, 符号为  $x_i$ , 其量纲为 1, 表达式为:

$$x_i = \frac{n_i}{n} \quad (2-4)$$

对于双组分系统的溶液来说，若溶质的物质的量为  $n_B$ ，溶剂的物质的量为  $n_A$ ，则其摩尔分数分别为：

$$x_B = \frac{n_B}{n_B + n_A} \quad (2-5)$$

$$x_A = \frac{n_A}{n_B + n_A}$$

显然， $x_A + x_B = 1$

对于多组分系统来说，则有  $\sum x_i = 1$

#### 2.2.4 质量分数

混合系统中，某组分 B 的质量( $m_B$ )与混合物总质量( $m$ )之比，称为组分 B 的质量分数，用符号  $\omega_B$  表示，其量纲为 1，表达式为：

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (2-6)$$

质量分数，以前常称质量百分浓度（用百分率表达则再乘以 100%）。

#### 2.2.5 质量浓度

每升溶液中所含溶质 B 的质量 (g)，用符号  $\rho$  表示，单位为  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，计算公式为：

$$\rho = \frac{m_B}{V} \quad (2-7)$$

例 2-4 在常温下取 NaCl 饱和溶液  $10.00\text{cm}^3$ ，测得其质量为  $12.003\text{g}$ ，将溶液蒸干，得 NaCl 固体  $3.173\text{g}$ 。求：(1) 物质的量浓度，(2) 质量摩尔浓度，(3) 饱和溶液中 NaCl 和  $\text{H}_2\text{O}$  的摩尔分数，(4) NaCl 饱和溶液的质量分数，(5) 质量浓度。

解：

(1) NaCl 饱和溶液的物质的量浓度为：

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V} = \frac{3.173\text{g}/58.44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{10.00 \times 10^{-3}\text{L}} = 5.42\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) NaCl 饱和溶液的质量摩尔浓度为：

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.173\text{g}/58.44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(12.003 - 3.173) \times 10^{-3}\text{kg}} = 6.14\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

(3) NaCl 饱和溶液中

$$n(\text{NaCl}) = 3.173\text{g}/58.44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.0542\text{mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = (12.003 - 3.173)\text{g}/18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.491\text{mol}$$

$$x(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.0542\text{mol}}{0.0542\text{mol} + 0.491\text{mol}} = 0.10$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x(\text{NaCl}) = 1 - 0.10 = 0.90$$

(4) NaCl 饱和溶液的质量分数为:

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.173\text{g}}{12.003\text{g}} = 0.2644 = 26.44\%$$

(5) NaCl 饱和溶液的质量浓度为:

$$\rho = \frac{m_B}{V} = \frac{3.173\text{g}}{10.00 \times 10^{-3}\text{L}} = 317.3\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

### 2.3 稀溶液的依数性

溶质的溶解过程是个物理化学过程。溶解的结果是溶质和溶剂的某些性质相应地发生了变化, 这些性质变化可分为两类: 一类是溶质本性不同所引起的, 如溶液的密度、体积、导电性、酸碱性和颜色等的变化, 溶质不同则性质各异。另一类是溶液的浓度不同而引起溶液的性质变化, 如蒸气压下降、沸点上升、凝固点下降、渗透压等, 是一般溶液的共性。这些性质只与溶质的粒子数目有关, 而与溶质的本性无关, 如不同种类的难挥发的非电解质葡萄糖、甘油等配成相同浓度的水溶液, 它们的沸点上升、凝固点下降、渗透压等几乎都相同, 所以称为溶液的依数性。溶液的依数性只有在溶液的浓度很稀时才有规律, 而且溶液越稀, 其依数性的规律性越强。

稀溶液的依数性与溶剂的相平衡有关, 因此先介绍溶剂水的相平衡及其相图。

#### 2.3.1 水的相图

被人为划定作为研究对象的物质叫系统。在一个系统中, 物理性质和化学性质完全相同并且组成均匀的部分称为相。如果系统中只有一个相叫做单相系统, 含有两个或两个以上相的系统则称为多相系统。系统里的气体, 无论是纯气体还是混合气体, 总是单相的。系统中若只有一种液体, 无论是纯液体(如水)还是真溶液(如 NaCl 水溶液)也总是单相的。若系统里有两种液体, 则情况较复杂: 酒精和水这两种液体能以任意比例混合, 则是单相系统, 而乙醚与水其中间有液—液界面隔开, 为互不相溶的油和水在一起构成两相系统。不同固体的混合物, 是多相系统, 如花岗岩是由石英、云母、长石等多种矿物组成的多相系统。不同相之间具有明显的光学界面, 光由一相进入另一相会发生反射和折射, 光在不同相里行进的速度不同。

相和态是两个不同的概念, 态是指物质的聚集状态, 如上述由乙醚和水所构成的系统, 只有一个状态——液态, 却包含有两个相。

相和组分也不是一个概念。例如同时存在水蒸气、液态水和冰的系统是三相系统, 但这个系统中只有一个组分——水。冰、水、水蒸气的化学组成相同, 三者之间的转化没有发生化学变化, 却发生了相的变化。固、液、气三相之间的转化称为相变, 相变达到平衡状态时称为相平衡。为了表示水的固、液、气三态之间在不同温度和压力下的平衡关系, 以压力为纵坐标, 温度为横坐标, 表达系统状态及温度和压力间关系的图称为相图或状态图。

水的相图由三条线、三个区和一个点组成。OA 线是水的蒸气压曲线, 它代表了水和蒸气两相平衡关系随温度和压力的变化。OA 线上的各点表示在某一温度下所对应的水的蒸气压, 或达到水的某一蒸气压时, 所需的对应温度。所以 OA 线上的各点表示的是水和其蒸气长久共存的温度和压力条件。

A 点为临界点，该点的温度是  $374^{\circ}\text{C}$ ，称临界温度（高于此温度时，不论多大的压力也不能使水蒸气液化）；此点的压力是  $2.21 \times 10^4 \text{kPa}$ ，称临界压力（临界温度时使水蒸气液化所需要的压力）。

OB 线是冰的蒸气压曲线（又称为冰的升华曲线），线上各点表示冰与其蒸气长期共存的温度和压力条件。OC 线是水的凝固曲线，线上各点表示水与冰达成平衡时对应的温度和压力条件。OC 线几乎与纵坐标平行，说明压力变化对水的凝固点变化影响不大。

三条曲线的交点 O 点表示冰、水、水蒸气三相共存时的温度和压力，所以 O 点称为三相点。三相点是纯水在它自己饱和蒸气压下的凝固点。三相点的蒸气压为  $0.611 \text{kPa}$ ，温度为  $0.00981^{\circ}\text{C}$ ，要维持三相平衡，须保持此温度和压力，改变任何一个条件则会使三相平衡遭到破坏，而冰点是在  $101.325 \text{kPa}$  下被空气饱和的水和冰的平衡温度，冰点的温度为  $0^{\circ}\text{C}$ 。纯水三相点的温度和压力是由我国物理化学家黄子卿教授首先精确测定的。

三条曲线将图分为三个区，AOB 是气相区，AOC 是液相区，BOC 为固相区。每个区内只存在水的一种状态，称单相区。如在 AOB 区域内，在每一点相应的温度和压力下，水都呈气态。在单相区中，温度和压力可以在一定范围内同时改变而不引起状态变化即相变，因此，只有同时指明温度和压力，系统的状态才能完全确定。

### 2.3.2 溶液的蒸气压下降

物质分子在不断地运动着。如果将液体置于密闭的容器中，液体中一部分能量较高的分子会克服其它分子对它的吸引而逸出，成为蒸气分子，这个过程叫蒸发，又称为气化。液面附近的蒸气分子又可能被吸引或受外界压力的作用重新回到液体中，这个过程叫做凝聚。开始时，因空间没有蒸气分子，蒸发速度较快，随着蒸发的进行，液面上方的蒸气分子逐渐增多，凝聚速度随之加快。一定时间后，当蒸发速度和凝聚速度相等时，该液体和它的蒸气处于动态平衡状态，即在单位时间内，由液面蒸发的分子数和由气相返回液体的分子数相等。此时的蒸气称为饱和蒸气，饱和蒸气所产生的压力称为饱和蒸气压，简称蒸气压。蒸气压的单位为 Pa 或 kPa。

相同温度下，不同的液体有不同的蒸气压，如表 1-3，它与液体的本性有关。

通常把常温下蒸气压较高的物质称为易挥发性物质，如苯、碘、乙醚等，蒸气压较低的物质称为难挥发性物质，如甘油、食盐等。

纯液体在一定温度下具有一定的蒸气压。由于蒸发是吸热过程，所以同一液体的蒸气压随着温度的升高而增大。例如： $20^{\circ}\text{C}$  时水的蒸气压为  $2.34 \text{kPa}$ ，而  $100^{\circ}\text{C}$  时则有  $101.325 \text{kPa}$ 。

与液体相似，固体也可以蒸发，因而也有一定的蒸气压，但一般都很小。

如往密闭容器的纯溶剂水中加入少量难挥发非电解质，在同一温度下，稀溶液的蒸气压总是低于纯溶剂水的蒸气压，这种现象称为溶液的蒸气压下降。产生这种现象的原因是由于在溶剂中加入难挥发非电解质后，每个溶质分子与若干个溶剂分子相结合，形成了溶剂化分子，溶剂化分子一方面束缚了一些能量较高的溶剂分子，另一方面又占据了溶液的一部分表面，结果使得在单位时间内逸出液面的溶剂分子相应地减少，达到平衡状态时，溶液的蒸气压必定比纯溶剂的蒸气压低，显然溶液浓度越大，蒸气压下降得越多。如图 1-2。

1887年法国物理学家拉乌尔 (Raoult) 研究了溶质对纯溶剂的凝固点和蒸气压的下降, 得出如下结论: 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压 ( $p$ ), 等于纯溶剂的蒸气压 ( $p^*$ ) 乘以溶剂在溶液中的摩尔分数 ( $x_A$ ), 这种定量关系称为拉乌尔定律。其数学表达式为:

$$p = p^* x_A \quad (2-8)$$

式中  $p$  表示溶液的蒸气压,  $p^*$  表示纯溶剂的蒸气压, 因为  $x_A + x_B = 1$  则

$$p = p^* (1 - x_B) = p^* - p^* x_B \quad \Delta p = p^* - p = p^* x_B$$

拉乌尔定律的另一种表述是: 在一定温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降 ( $\Delta p$ ), 与溶质的摩尔分数 ( $x_B$ ) 成正比。

$$\text{因为 } x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad \text{当溶液很稀时, } n_A \gg n_B \quad \text{则 } x_B \approx \frac{n_B}{n_A}$$

如果溶剂是水, 且质量为 1000g, 则溶质 B 的物质的量  $n_B$  就等于溶液的质量摩尔浓度  $b_B$ 。

$$\text{因为 } n_A = \frac{1000\text{g}}{18.016\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 55.51\text{mol}$$

$$\text{所以 } \Delta p = p^* x_B \approx p^* \frac{n_B}{n_A} = p^* \frac{b}{55.51}$$

一定温度下, 纯溶剂的蒸气压( $p^*$ )是一定值, 所以  $\frac{p^*}{55.51}$  为一常数, 用  $K$  表示, 则有

$$\Delta p = K \cdot b \quad (2-9)$$

由此, 拉乌尔定律又可表述为: 在一定的温度下, 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降, 近似地与溶液的质量摩尔浓度成正比, 而与溶质的种类无关。

溶液的蒸气压下降, 对植物的抗旱抗寒具有重要意义。经研究表明, 当外界气温升高或降低时, 在有机体的细胞中, 可溶物 (主要是可溶性糖类小分子物质) 强烈地溶解, 增大了细胞液的浓度, 从而降低了细胞液的蒸气压, 使植物的水分蒸发过程减慢。因此, 植物在较高温度下仍能保持必要的水分而表现出抗旱性。

### 2.3.3 溶液的沸点上升和凝固点下降

在一定压力下, 液体的表面和内部同时进行汽化的过程称为沸腾, 此时的温度称为沸点。因此, 沸点与压力有关。当液体的蒸气压等于外界大气压时的温度, 便是该液体的正常沸点。如水的正常沸点是 373.15K (100°C), 此时水的饱和蒸气压等于外界大气压 101.325kPa。

根据拉乌尔定律, 难挥发非电解质稀溶液沸点上升与溶液质量摩尔浓度近似成正比, 与溶质本性无关, 其数学表达式为:

$$\Delta t_b = K_b \cdot b \quad (2-10)$$

式中  $K_b$  为溶剂的沸点上升常数, 该常数取决于溶剂的性质, 与溶质的性质无关。  $K_b$  值通过实验测得, 也可以由理论推算, 单位为  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。常见的几种溶剂的沸点上升常数见表 1-5。

物质的凝固点是指在一定的外界压力下该物质的液相和固相蒸气压相等、固液两相能够平衡共存时

的温度。外压是标准大气压时的凝固点称为正常凝固点。如水的正常凝固点（亦称冰点）在标准大气压（101.325kPa）下是 273.15K（0℃）。此时，液相水和固相冰的蒸气压相等，冰和水能够平衡共存。当溶液中两相的蒸气压不相等时，两相不能共存。如在 273.15K 以下时，水的蒸气压高于冰的蒸气压，水将转化为冰；在 273.15K 以上时，冰的蒸气压高于水的蒸气压，冰将融化为水。

溶液的凝固点是指溶液中的溶剂和它的固相平衡共存时的温度。当在 0℃ 的冰水平衡系统中加入难挥发的非电解质后，势必引起液相水的蒸气压下降，而对于溶剂的固态物质冰的蒸气压则不会改变。因此，两相不能平衡共存，由于溶液的蒸气压下降，致使冰的蒸气压高于水的蒸气压，冰会融化成水。由于冰的蒸气压下降速度比水溶液的蒸气压下降速度要大，当温度降低到  $t_f$  时，冰和溶液的蒸气压重新相等（图 1-3 中 O' 点对应的温度），溶液开始结冰。O' 点的温度是溶液在低蒸气压下的凝固点  $t_f$ ，可见溶液的凝固点总是低于纯溶剂的凝固点  $t_f^*$ ， $t_f$  与  $t_f^*$  之差即为溶液的凝固点下降  $\Delta t_f = t_f - t_f^*$ 。根据拉乌尔定律有：

$$\Delta t_f = K_f \cdot b \quad (2-11)$$

式中  $K_f$  称为溶剂的凝固点下降常数，单位为  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  或  $\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。它也随溶剂不同而异，与溶质的性质无关。

应用溶液的蒸气压下降、沸点上升和凝固点下降可以测定溶质的摩尔质量，但在实际应用中常用溶液的凝固点下降来进行测定。因为同一溶剂的凝固点下降常数比沸点上升常数要大，而且晶体析出现象较易观察，测定结果的准确度高。所以凝固点下降法测定摩尔质量比用沸点上升法应用更为广泛。

例 2-5 取 2.67g 萘溶于 100g 苯中，测得该溶液的凝固点下降了 1.07K，求萘的摩尔质量。

解 苯的凝固点下降常数为  $5.12 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\Delta t_f = K_f \cdot b$$

$$1.07\text{K} = 5.12 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times \frac{2.67\text{g}}{M \times 100 \times 10^{-3} \text{kg}}$$

$$M = 127.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

#### 2.3.4 渗透压

图 1-4 所示是一个连通器，中间装有半透膜，半透膜是只允许溶剂分子透过而不允许溶质透过的物质（如动物的膀胱膜、肠膜、植物细胞原生质膜或人造羊皮纸等）。在膜两边分别放入蔗糖水和纯水，并使两边液面高度相等。经过一段时间以后，可以观察到纯水液面下降，而糖水的液面上升，这似乎说明纯水中有一部分水分子通过半透膜进入了溶液，产生了渗透。其实水分子不但从纯水透过半透膜向糖水扩散，同时也有水分子从糖水侧向纯水侧扩散，只是由于糖水中水分子浓度较纯水低，溶液的蒸气压小于纯溶剂的蒸气压，致使单位时间内纯水中水分子透过半透膜进入溶液的速率大于溶液中水分子透过半透膜进入纯水的速率，故使糖水体积增大，液面升高。当糖水液面上升了某一高度  $h$  时，水

分子向两个方向的渗透速度相等，此时水柱高度不再改变，渗透处于平衡状态。换句话说，水柱所产生的静水压阻止了纯水向溶液的渗透。

若在糖水液面上加一活塞并施加恰好阻止水分子渗透的压力，这个压力就是该溶液的渗透压。因

此，为了阻止渗透作用的进行而施加于溶液的最小压力称为渗透压，用符号  $\pi$  表示。

1886年，荷兰物理学家范特霍夫 (Van' t Hoff) 总结大量实验结果后指出，稀溶液的渗透压与溶液浓度及温度的关系与理想气体方程相似：

$$\pi V = nRT \quad (2-12)$$

$$\text{或} \quad \pi = \frac{n}{V} RT = cRT \quad (2-13)$$

当溶液浓度很稀时， $c \approx b$   $\pi = bRT$

渗透不仅可以在纯溶剂与溶液之间进行，同时也可以两种不同浓度的溶液之间进行。因此，产生渗透作用必须具备两个条件：一是有半透膜存在；二是半透膜两侧单位体积内溶剂的分子数目不同（如水和水溶液之间或稀溶液和浓溶液之间）。如果半透膜两侧溶液的浓度相等，则渗透压相等，这种溶液称为等渗溶液。如果半透膜两侧溶液的浓度不等，则渗透压就不相等，渗透压高的溶液称为高渗溶液，渗透压低的溶液称为低渗溶液，渗透是从稀溶液向浓溶液方向扩散。

如果外加在溶液上的压力超过了溶液的渗透压，则溶液中的溶剂分子可以通过半透膜向纯溶剂方向扩散，纯溶剂的液面上升，这一过程称为反渗透。反渗透原理广泛应用于海水淡化，工业废水处理和溶液的浓缩等方面。

与凝固点下降、沸点上升实验一样，溶液的渗透压下降也是测定溶质的摩尔质量的经典方法之一，而且特别适用于摩尔质量大的分子。

例 2-6 在 1L 溶液中含有 5.0g 血红素，298K 时测得该溶液的渗透压为 182Pa，求血红素的平均摩尔质量。

解：由  $\pi = cRT$

$$c = \frac{\pi}{RT} = \frac{182\text{Pa}}{8.314\text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298\text{K}} = 7.3 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{平均摩尔质量} = \frac{5.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{7.3 \times 10^{-5} \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 6.8 \times 10^4 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

授课日期

2026年4月27日

教案编号

5

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第五章 表面活性剂在性质		
授课学时	2 节 ( )； 3 节 ( )； 其它 ( <input checked="" type="checkbox"/> )		
课 型	理论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 实验 ( )； 见习 ( )； 实训 ( )； 其它 ( )		
教学目的	1.了解表面活性剂的个性特点 2.理解吉布斯吸附定律的含义, 3.掌握表面张力最低值的概念		
教学重点	理解吉布斯吸附定律的含义		
教学难点	掌握表面张力最低值的概念		
教学方法	讲授 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 讨论 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 指导 ( )； 示教 ( )； 其它 ( )		
电子教案	有 ( <input checked="" type="checkbox"/> )	Microsoft PowerPoint ( )； Author ware ( )； 其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 ( <input checked="" type="checkbox"/> )； 模型 ( )； 标本 ( )； 实物 ( )； 音像 ( )； 其它 ( )		
教学过程 时间安排	第 1 节 表面活性剂的溶解度、化学稳定性 第 2 节 吉布斯吸附定律 第 3 节 表面活性剂在界面上的吸附 第 4 节 表面张力的最低值现象		
思 考 题	高能表面固体和低能表面固体的差别在哪？		
作 业	P111 2,5		

## 第五章 表面活性剂的性质

### 1、表面活性剂的溶解度、化学稳定性

难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降、凝固点下降、沸点上升和渗透压，都与溶液中所含的溶质的种类无关，而与溶液的浓度有关，总称为稀溶液的依数性，也叫做稀溶液的通性。对于浓溶液、电解质溶液而言也有蒸气压下降、凝固点下降、沸点升高以及渗透压，但是各项依数性数值比根据拉乌尔定律计算的数值要大得多，这种现象称为电解质溶液的反常现象。表 1-7 列出了几种无机盐水溶液的凝固点下降数值。

由表可见，同浓度的电解质稀溶液凝固点下降  $\Delta t_f'$  皆比非电解质稀溶液的凝固点下降  $\Delta t_f$  数值要大，两者之比用  $i$  表示：

$$i = \frac{\Delta t_f'}{\Delta t_f}$$

对于同种电解质稀溶液，不仅凝固点下降  $\Delta t_f'$ ，而且蒸气压下降  $\Delta p'$ 、沸点上升  $\Delta t_b'$ 、渗透压  $\pi'$  等均比同浓度的非电解质稀溶液的相应数值要大，且存在着下列关系：

$$i = \frac{\Delta t_f'}{\Delta t_f} = \frac{\Delta t_b'}{\Delta t_b} = \frac{\Delta p'}{\Delta p} = \frac{\pi'}{\pi}$$

$i$  称为范特霍夫校正系数。在运用电解质稀溶液的依数性时，必须乘以范特霍夫系数  $i$ ，才符合实验结果。

100 多年前，瑞典化学家阿仑尼乌斯 (Arrhenius) 正是从电解质溶液对依数性的偏差及溶液的导电性实验事实出发提出了他的电离理论。阿仑尼乌斯认为，电解质溶于水，其质点数因电离而增加，所以， $\Delta t_f$  等依数性数值会增大。例如，对于  $0.01 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  的 KCl 溶液，若不发生电离的话，其  $\Delta t_f$  的计算值应为  $0.0186^\circ\text{C}$ 。若强电解质在水中是完全电离的，那么理论上来说，其  $\Delta t_f' = K_f \cdot b' = 2 K_f b = 2 \Delta t_f = 0.0372^\circ\text{C}$ 。然而，实测值为  $0.0361^\circ\text{C}$ 。这些事实似乎又显示出强电解质在溶液中并不是全部电离的。经计算得出 94% 的 KCl 电离成  $\text{K}^+$  和  $\text{Cl}^-$  了。所求得电离度称为表观电离度。

那么，强电解质在溶液中既然是完全电离的，为什么电离度又小于 100% 呢？

1923 年，德拜 (Deby) 和休克尔 (h ü ckel) 等认为，强电解质在溶液中是完全电离的，在溶液中的离子浓度很大。但电离产生的离子由于带电而相互作用，每个离子都被异性离子包围，形成了“离子氛”，阳离子周围有较多的阴离子，阴离子周围有较多的阳离子，使得离子在溶液中不能完全自由。当溶液中通过电流时，阳离子将向阴极移动，但它的离子氛将向阳极移动，加上强电解质溶液中的离子较多，离子间平均距离小，离子间吸引力和排斥力较显著等因素，离子之间相互牵制，离子的运动速度显然比毫无牵挂要来得慢些，因此，所测得的溶液的导电性就比完全电离的理论模型要低些，产生不完全电离的假象。

为了定量描述电解质溶液中离子间的牵制作用，引入了活度的概念。活度是单位体积溶液在表观

上所含的离子浓度，即有效浓度。活度  $a$  与实际浓度  $c$  的关系为：

$$a = \gamma c \quad (1-13)$$

式中  $\gamma$  为活度系数。它反映了电解质溶液中离子间相互牵制作用的大小，溶液越浓，离子电荷越高，离子间的牵制作用越强烈。当溶液稀释时，离子间相互作用极弱， $\gamma \rightarrow 1$ ，这时，活度与浓度基本趋于一致了。

电解质溶液的浓度和活度之间一般是有差别的，严格说来，都应该用活度来计算，但对于稀溶液、弱电解质溶液、难溶强电解质溶液作近似计算时，通常就用浓度进行计算。这是因为在这些情况下溶液中的离子浓度很低，离子强度很小， $\gamma$  值十分接近 1 的缘故。

## 2.4 胶体溶液

颗粒直径在 1~100nm 的分散质分散到分散介质中，构成的多相系统称为胶体。通常制备胶体的方法有分散法和凝聚法两种。

分散法将大颗粒分散质与分散剂一起在胶体磨中研磨，使大颗粒分散质分细至胶粒大小，如工业上制取胶体石墨。凝聚法借助化学反应或通过改变溶剂，使单个分子或离子聚集成较大的胶体粒子。如将硫的酒精溶液逐滴滴加到水中以制得硫溶胶。

### 2.4.1 溶胶的性质

溶胶所具有的特性是与胶体粒子的大小分不开的。

#### 1. 光学性质

将一束聚光光束照射到胶体时，在与光束垂直的方向上可以观察到一个发光的圆锥体，这种现象称为丁铎尔(Tyndall)现象或丁铎尔效应（见图 1—5）。

当光束照射到大小不同的分散相粒子上时，除了光的吸收之外，还可能产生两种情况：一种是如果分散质粒子大于入射光波长，光在粒子表面按一定的角度反射，粗分散系属于这种情况；另一种是如果粒子小于入射光波长，就产生光的散射。这时粒子本身就好像是一个光源，光波绕过粒子向各个方向散射出去，散射出的光就称为乳光。

由于溶胶粒子的直径在 1~100nm 之间，小于入射光的波长（400~760nm），因此发生了光的散射作用而产生丁铎尔现象。分子或离子分散系中，由于分散质粒子太小（<1nm），散射现象很弱，基本上发生的是光的透射作用，故丁铎尔效应是溶胶所特有的光学性质。

#### 2. 动力学性质

在超显微镜下观察溶胶，可以看到代表溶胶粒子的发光点在不断地作无规则的运动，这种现象称为布朗(Brown)运动

布朗运动是分散介质的分子由于热运动不断地由各个方向同时撞击胶粒时，其合力未被相互抵消引起的，因此在不同时间，指向不同的方向，形成了曲折的运动（图 1—7）。当然，溶胶粒子本身也有热运动，我们所观察到的布朗运动，实际上是溶胶粒子本身热运动和分散介质对它撞击的总结果。

溶胶粒子的布朗运动导致其扩散作用，它可以自发地从粒子浓度大的区域向粒子浓度小的区域扩散。但由于溶胶粒子比一般的分子或离子大得多，故它们的扩散速度比一般的分子或离子要慢得多。

在溶胶中，溶胶粒子由于本身的重力作用而会沉降，沉降过程导致粒子浓度不均匀，即下部较浓上部较稀。布朗运动会使溶胶粒子由下部向上部扩散，因而在一定程度上抵消了由于溶胶粒子的重力作用而引起的沉降，使溶胶具有一定的稳定性，这种稳定性称为动力学稳定性。

### 3. 电学性质

(1)电泳 在 U 型电泳仪内装入红棕色的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶，溶胶上方加少量的无色  $\text{NaCl}$  溶液，使溶液和溶胶有明显的界面（图 1-8）。插入电极，接通电源后，可看到红棕色的  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶的界面向负极上升，而正极界面下降。这表明  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶粒子在电场作用下向负极移动，说明  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶胶粒是带正电的，称之为正溶胶。如果在电泳仪中装入黄色的  $\text{As}_2\text{S}_3$  溶胶，通电后，发现黄色界面向正极上升，这表明  $\text{As}_2\text{S}_3$  胶粒带负电荷，为负溶胶。溶胶粒子在外电场作用下定向移动的现象称为电泳。通过电泳实验，可以判断溶胶粒子所带的电性。

(2)电渗 与电泳现象相反，使溶胶粒子固定不动而分散介质在外电场作用下作定向移动的现象称为电渗。电渗在特制的电渗管中进行（图 1-9），电渗管中的隔膜可由素瓷

片、凝胶、玻璃纤维等多孔性物质制成。溶胶放入隔膜中间，在 A、B 两室中充满水，并使左右两侧细管水位相等，然后接通电源，液体就会透过多孔性隔膜向某一极移动，移动

的方向可由侧管中水面的升降来观察。如将  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶装入中间的隔膜，通电一段时间后，发现 A 室侧管液面比 B 室侧管液面要高。这说明  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶中分散介质带负电，向正极移动。电渗实验通过测定分散介质所带电荷的电性判断溶胶粒子所带电荷的电性，因为溶胶粒子所带电荷的电性与分散介质所带电荷的电性是相反的。

#### 2.4.2 溶胶粒子带电的原因

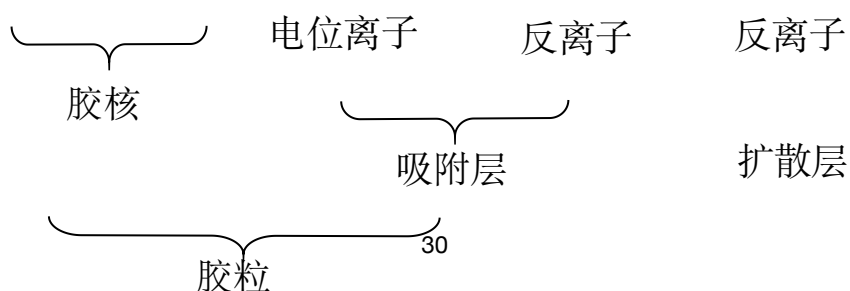
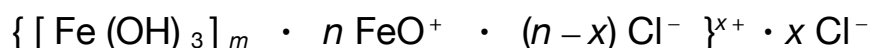
溶胶的电泳和电渗现象统称为电动现象。电动现象表明，溶胶粒子是带电的。带电的原因有吸附带电和电离带电两种。

一种物质自动聚集到另一种物质表面上的过程称为吸附。能够将它种物质聚集到自己表面上的物质称为吸附剂，被聚集的物质称为吸附质。实验室用硅胶吸附空气中的水蒸气，制糖工业中用活性炭吸附糖液中的色素，其中硅胶和活性炭是吸附剂，水蒸气和色素是吸附质。吸附可以在固体和气体的界面上进行，也可以在固体和液体的界面上发生。

固体对气体的吸附是一个吸附和解吸的可逆过程。而固体在溶液中的吸附则比较复杂，它既可能吸附溶质分子或离子，也可能吸附溶剂分子。固体在溶液中的吸附分为分子吸附和离子吸附两类。

#### 2.4.3 胶团结构

胶团结构也可以用胶团结构式表示。 $\text{Fe}(\text{OH})_3$  溶胶的胶团结构式为



$m$ ——形成胶核物质的分子数，通常  $m$  是一个很大的数值，在  $10^3$  左右。

$n$ ——吸附在胶核表面的电位离子数， $n$  比  $m$  要小得多。

$x$ ——扩散层的反离子数，也是胶核所带的电荷数。

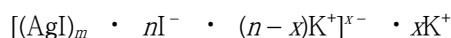
$(n-x)$ ——吸附层的反离子数。

同理，也可写出其它物质形成的溶胶的胶团结构式。

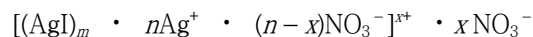
如硫化砷溶胶： $[(As_2S_3)_m \cdot nHS^- \cdot (n-x)H^+]^{x-} \cdot xH^+$

硅酸溶胶： $[(H_2SiO_3)_m \cdot nHSiO_3^- \cdot (n-x)H^+]^{x-} \cdot xH^+$

又如用  $AgNO_3$  溶液与过量  $KI$  溶液反应制备的  $AgI$  溶胶，其胶团结构式为：



相反，用  $KI$  溶液与过量  $AgNO_3$  溶液反应制备的  $AgI$  溶胶，其胶团结构式为：



#### 2.4.4 溶胶的稳定性和聚沉

##### 1. 溶胶的稳定性

溶胶的稳定性可以从动力学稳定性和聚结稳定性两方面来考虑。

动力学方面，由于溶胶粒子具有强烈的布朗运动，所以在重力场内，溶胶粒子会抵抗重力的作用而不下沉，不会从分散剂中分离出来。

溶胶的聚结稳定性决定于溶胶的胶团结构。在溶胶系统中，一方面由于溶胶粒子都带有相同的电荷，同号电荷之间的相互排斥作用阻止了它们的靠近。另一方面，胶团中的电位离子和反离子都能发生溶剂化作用，在其表面形成具有一定强度和弹性的溶剂化膜（在水中就称为水化膜），这层溶剂化膜阻止了溶胶粒子之间的直接接触。溶胶粒子的电荷量越多，溶剂化膜越厚，溶胶就越稳定。由于这两个因素的存在，使溶胶能放置一定的时间而不聚沉。溶胶的聚结稳定性也是使溶胶稳定的根本性原因。

##### 2. 溶胶的聚沉

溶胶的稳定是暂时的、有条件的、相对的。热力学不稳定性才是溶胶的基本性质。从溶胶的稳定性来看，只要破坏了溶胶稳定性的因素，溶胶粒子就会聚结变大，最后从分散剂中分离而沉降，这个过程称为溶胶的聚沉。

(1) 电解质对溶胶的聚沉作用 往溶胶中加入少量强电解质就会使溶胶出现很明显的聚沉现象。这是由于加入电解质后，离子浓度增大，反离子浓度也增大，被电位离子吸引进入吸附层的反离子数目就会增多，使得吸附层变厚，扩散层变薄，其结果是使胶粒间的电荷排斥力减小，胶粒失去了带电的保护作用。同时，加入的电解质有很强的溶剂化作用，它可以夺取胶粒表面溶剂化膜中的溶剂分子，破坏胶粒的溶剂化膜，使其失去溶剂化膜的保护，因而溶胶在碰撞过程中会相互结合成大颗粒而聚沉。

电解质对溶胶的聚沉作用不仅与电解质的性质、浓度有关，还与胶粒所带电荷的电性有关。通常

用聚沉值来比较各种电解质对溶胶的聚沉能力的大小。使一定量的溶胶在一定时间内完全聚沉所需的电解质的最低浓度( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )称为聚沉值。显然, 某一电解质对溶胶的聚沉值越小, 其聚沉能力就越大; 反之, 聚沉值越大, 聚沉能力就越小。电解质负离子对正溶胶的聚沉起主要作用, 正离子对负溶胶的聚沉起主要作用, 聚沉能力则随着离子价数的升高而显著增加, 这一规律称为叔尔采——哈迪(Schulze—Hardy)规则。

(2)温度对溶胶稳定性的影响 加热可使很多溶胶发生聚沉。这是由于加热能加快胶粒的运动速度, 从而增加了胶粒相互碰撞的机会, 同时也降低了胶核对电位离子的吸附能力, 减少了胶粒所带的电荷, 即减弱了使溶胶稳定的主要因素, 使胶粒间碰撞聚结的可能性大大增加。


(3)溶胶的相互聚沉 当把电性相反的两种溶胶以适当比例相互混合时, 溶胶也会发生聚沉, 这种聚沉称为溶胶的相互聚沉。溶胶的相互聚沉是胶粒间吸引力作用的结果, 因此聚沉的程度与溶胶的量有关, 只有当溶胶粒子所带的电荷量相等时, 这两种溶胶的电荷才能完全中和而发生完全聚沉, 否则只有部分聚沉, 甚至不聚沉。

### 3. 高分子对溶胶的作用。

高分子化合物是指具有较大相对分子质量的大分子化合物, 如蛋白质、纤维素、淀粉、动植物胶、人工合成的各种树脂等。高分子化合物在适当的溶剂中能强烈的溶剂化, 形成很厚的溶剂化膜而溶解, 构成了均匀、稳定的单相分散系, 称为高分子溶液。

## 2.4.5 表面活性物质和乳浊液

### 1. 表面活性物质

凡是溶于水后能显著降低水的表面自由能的物质, 称为表面活性物质或表面活性剂。例如肥皂就是一类应用最广最普遍的表面活性物质。表面活性物质有天然的, 如磷脂、胆碱、胆酸、蛋白质等, 但更多是人工合成的, 如  $\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{—SO}_3\text{Na}$ 、 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{—COONa}$ 、 $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{—COO—}$    $\text{—SO}_3\text{Na}$  等。

表面活性物质所具有的特性取决于其分子结构。它们的分子都是由极性基团和非极性基团两部分组成。极性基团如  $\text{—OH}$ 、 $\text{—CHO}$ 、 $\text{—COOH}$ 、 $\text{—NH}_2$ 、 $\text{—SO}_3\text{H}$ , 它们对水的亲和力强, 称为亲水基; 非极性基团如烷基  $\text{R—}$ 、芳基  $\text{Ar—}$ , 它们与水的亲和力弱而与油的亲和力强, 故称疏水基或亲油基。为了便于说明, 常用符号“—○”表示表面活性剂分子, 其中“—”表示亲油基, “○”表示亲水基。例如, 钠肥皂分子中, 亲水基是  $\text{—COO}^-\text{Na}^+$ , 亲油剂是  $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{—}$ , 如图 1-12 所示。当把表面活性物质溶于水后, 分子中的亲水基伸入水中, 而疏水基则力图逃离水面, 结果是表面活性剂分子在水面上聚集。当浓度极小时疏水基可以平躺在水的表面上, 如图 1-12 (a)。浓度增大时, 分子互相挤压, 疏水基就斜向空间, 如图 1-12 (b)。达到饱和时, 就形成疏水基露出水面伸向空间的定向排列, 如图 2-12 (c)。由于这种定向排列, 使得表面活性剂分子占据两相界面, 使界面上的分子的受力不均匀情况得到了改善, 从而降低了水的表面能。表面活性剂分子的碳链越长, 疏水基就越强, 就越容易聚集在两相界面, 因而它的表面活性就越强。

### 2. 乳状液

一种液体以细小液滴分散在另一种互不相溶的液体中所形成的系统, 称为乳状液。牛奶、豆浆原

油、胶乳、乳化农药等都是乳状液，其中分散相液滴的直径在 100 ~ 1000nm，用普通显微镜就能看

授课日期

2026年5月11日

教案编号

6

课程名称	表面活性剂		专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂			
授课题目	第六章 表面活性剂的应用			
授课学时	2节 ( )；3节 ( )；其它 (√)			
课 型	理论 (√)；实验 ( )；见习 ( )；实训 ( )；其它 ( )			
教学目的	1.了解表面活性剂在各个领域中的应用 2.理解表面活性剂的工业用途, 3.掌握表面活性剂的农业用途			
教学重点	理解表面活性剂的工业用途			
教学难点	理解表面活性剂的工业用途			
教学方法	讲授 (√)；讨论 (√)；指导 ( )；示教 ( )；其它 ( )			
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint ( )；Author ware ( )；其它 ( )		
	无 ( )			
教学资源	多媒体 (√)；模型 ( )；标本 ( )；实物 ( )；音像 ( )；其它 ( )			
教学过程 时间安排	第一节概述表面活性剂的各类用途 第二节表面活性剂的工业用途 第三节表面活性剂的农业用途			
思考题	在工业用途中，表面活性剂的用途主要体现在哪些方面？			
作 业	P153 2,5			

## 第六章 表面活性剂的应用

提问 1: 在生活中与表面活性剂有关的物质有哪些? 其实我们每天都在与表面活性剂打交道, 如洗衣粉、洗洁精、洗发水、肥皂、沐浴露、蛋糕油、面包粉改良剂、饼干改良剂等。

### 一、表面活性剂的应用

1、表面张力 (**Surface tension**) 在物质内部, 每个分子所受其周围分子的作用力是对称的, 而处于界表面上的分子所受的作用力是不对称的。而这种不对称的合力就是界面张力。对液-气、固-气、表面而言就称之为表面张力。液体表面有自动收缩的纵向, 当重力可以忽略时, 液体总是趋向于形成球形, 这就是表面张力作用的结果。如水滴在固体表面呈圆形。

2、表面活性剂 (**surfactants**): 活跃于表面和界面上具有极高的降低表面、界面张力的能力和效率的一类物质; 其在一定浓度以上的溶液中能形成分子有序组合体, 从而具有一系列应用功能。

### 二、表面活性剂的结构特点

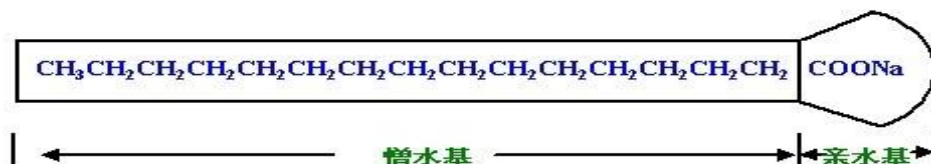
表面活性剂的分子一般是由疏水基和亲水基两部分所组成, 故称它为两亲性化合物。分子中具有不对称的结构, 一部分易溶于水, 具有亲水性质, 称作亲水基

(**hydrophilic group**), 另一部分不溶于水而易溶于油, 具有亲油性, 称作亲油基

(**lipophilic group**), 也称疏水基 (**hydrophobic group**)。



例如棕榈酸钠( $C_{15}H_{31}COONa$ )的结构可分为如下图所示的亲水基和憎水基部分:



提问:日常生活中吃的植物油及动物油的结构是怎样的?为什么现在提倡多吃植

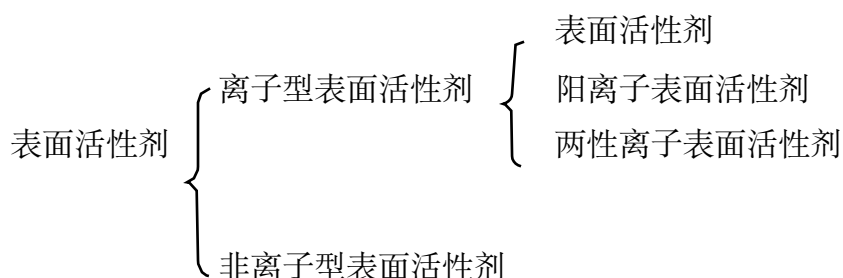
物油而少吃动物脂肪? 临界胶束浓度 (CMC) 表面活性剂溶于水后,首先在溶液表面  
层聚集形成正吸

附,当表面吸附达到饱和时,表面活性剂分子不能在表面继续吸附,表面活性剂分子

即转入溶液内部。因其分子结构具备两亲性,致使表面活性剂分子亲油基团之间相互吸引,即亲油基团朝内,亲水基团朝外,缔合形成大小不超过胶体粒子范围(1~100nm)且在水中稳定分散的胶束。表面活性剂分子在溶剂中缔合形成胶束的最低浓度即为临界胶束浓度,简称 CMC。到达临界胶束浓度时,分散系统由真溶液变成胶体溶液,同时会发生表面张力降低,增溶作用增强,起泡性能和去污力加大,渗透压、导电度、密度和粘度等的突变。

### 三、表面活性剂的分类

根据分子组成特点和极性基团的解离性质,可分为 阴离子



浊点 (cloud point) : 非离子型表面活性剂的水溶液,在逐渐加热的条件下,从透明溶液突然转变成浑浊液时的温度也称之为浊点。这类表面活性剂以其醚键中的

氧原子与水中的氢原子以氢键形式结合而溶于水。氢键结合力较弱,随温度升高而逐渐断裂,因而使表面活性剂在水中的溶解度逐渐降低,达一定温度时转为不溶而析出成浑浊液。质量好的产品浊点明显,质量差的不明显。浊点与表面活性剂分子中亲水基和亲油基质量比有一定关系。

krafft 点:当温度升高至某一温度时,离子表面活性剂在水中的溶解度急剧升高,该温度称为 krafft 点。 1、阴离子型表面活性剂:如脂肪酸皂(即肥皂)十二烷基硫酸钠等,其特点是洗净去污能力强,在化妆品中的应用主要是清洁洗涤作用。

## 化妆品知识点介绍:

肥皂、香皂和药皂的区别: 生产普通肥皂是用各种动、植物油和氢化油, 一般不用经过复杂的精制处理; 生产香皂是用牛油、羊油和椰子油, 制皂以前要经过碱炼、脱色、脱臭的精制处理, 加工香皂的工序多, 而且复杂。香皂的香气芬芳, 是因为在加工过程中加入了1%—1.5%的香精, 有的高档香皂加入的香精量更多, 肥皂的碱性偏强, 而香皂的碱性偏弱, 因此香皂可以洗澡, 但是肥皂最好拿来洗衣服。药皂则是在皂基中加入了各种不同的药物, 对于细菌有着更强的杀灭作用。

透明皂与普通肥皂的区别: (1) 透明皂干皂(脂肪酸钠)含量 $\geq 74\%$ , 普通肥皂含干皂量 $\geq 43\%$ (II型)或 $\geq 54\%$ (I型), 普通肥皂目前市场上已很少见, 已被透明皂逐步替代。(2) 透明皂晶莹剔透、香味清新、去污力强、泡沫丰富、经久耐用。

2、阳离子型表面活性剂: 如高碳烷基的伯、仲、叔和季铵盐等, 其特点是具有较好的杀菌性与抗静电性, 在化妆品中的应用是柔软去静电。如现在的洗发水、护发素中常添加有阳离子型表面活性剂。

3、两性型表面活性剂: 如椰油酰胺丙基甜菜碱、咪唑啉等, 其特点是具有良好的洗涤作用且比较温和, 常与阴离子型或阳离子型表面活性剂搭配使用。在洗发水、洁面产品中常添加这种物质。

4、非离子型表面活性剂: 如失水山梨醇脂肪酸酯(Span)和其环氧乙烷加成物(Tween)其特点是安全温和, 无刺激性, 具有良好的乳化、增溶等作用, 在化妆品中应用最广。在膏霜、乳液类产品中用到。

## 四、表面活性剂在化妆品中的各种应用

### 1、乳化作用

使非水溶性物质在水中呈均匀乳化形成乳状液的现象称为乳化作用。乳化过程中, 表面活性剂分子的亲油基一端溶入油相, 亲水基一端溶入水相, 活性剂的分子吸附在油与水的界面间, 从而降低油与水的界面张力, 使之能充分乳化。

乳化按连续相是水相还是油相可分为水包油型(O/W)与油包水型(W/O)二种基本形式。油溶性与水溶性乳化剂的混合物产生的乳状液的质量及稳定性优于单一乳化剂产生的乳状液; 油相极性越大, 乳化剂应是更亲水的; 被乳化的油类越是非极性的, 乳化剂应是更亲油的。实际应用还必须经过实验测试, 结合化妆品的安全性、商品性

方可确定。

乳化剂在化妆品中的应用,主要是以膏霜、乳液为对象。常见如雪花膏、中性雪花膏都是 O/W 型乳状液,可用阴离子型乳化剂脂肪酸皂(肥皂)乳化,用肥皂乳化制取油分少的乳状液较容易,而且肥皂有胶凝作用可达较大粘度。对于含大量油相的冷霜,乳状液多属 W/O 型,可选用吸水量大、粘性大的天然羊毛脂乳化。目前应用最广的是非离子型乳化剂,其原因非离子型乳化剂安全、刺激性低。有名的失水山梨醇脂肪酸酯(Span)和其环氧乙烷加成物(Tween)便是良好的复合非离子型乳化剂,Span 亲油,Tween 亲水,两者混合应用于 O/W 型露液中,可形成稳定性好、亲肤性高的乳状液。

## 2、增溶作用

使微溶性或不溶性物质增大溶解度的现象称为增溶作用。将表面活性剂加于水中时,水的表面张力初则急剧下降,继而形成活性剂分子聚集的胶束。当表面活性剂的浓度达到临界胶束浓度时,胶束能把油或固体微粒吸聚在亲油基的一端,因此增大微溶物或不溶物的溶解度。

选择表面活性剂作为增溶剂时可考虑如下:活性剂的亲油基越长,增容量越大;被增溶物则是同系物中分子越大的增容量越小;对于烷基链长度相同的,极性的化合物比非极性的化合物增容量大。

化妆水通常要用水与醇的混合液制取,根据水与醇混合比的变化则产品基质所使用的增溶剂也各异,但增溶时都是用亲水性强、HLB>15 的表面活性剂,多数用到非离子型的乙氧基化物(EO),如化妆水的增溶对象是香料、油分和药剂等,可用烷基聚氧乙烯醚增溶。而聚氧乙烯的烷基芳基醚虽然增溶能力强,但对眼睛有害,一般不使用。此外,蓖麻油基的两性衍生物具有优良的香料油、植物油溶解性,且这种活性剂对眼睛无刺激,适用于制备无刺激香波等化妆品。

**化妆品知识点介绍:** 化妆水基础知识 化妆水也称收缩水或爽肤、养肤水,我国市售的花露水也属这类制品。化妆水一

般呈透明液体,通常是在用洁面剂等洗净粘附于皮肤上的污垢后,为给皮肤的角质层补充水分及保湿成分,调整皮肤生理作用为目的而使用的。化妆水兼备清洁皮肤和补充水分,以保护皮肤的功能。它一般在清洁产品后,护肤产品前使用,可以作为这两者的一种补偿,但由于收到其机型要求的一些限制,并不能完全替代清洁,护肤产品。

近年来，化妆水更着重于保持皮肤水分均衡、控制油脂积累、营养皮肤、清除皮肤表面的过氧化脂质和活性脂酶，使皮肤清凉、爽洁。

### 1、基本类型：

(1) 透明型：这种是目前市场上最常见的化妆水。此类产品由于其透明外观的限制，在可选用的原料，制备工艺等方面都有非常高的要求，很多原料由于无法得到透明外观而被弃用。化妆水中一般 90% 以上含量都是去离子水，为了帮助溶解一些油溶性成分比如香精，油脂，油溶性维生素等等，必须添加一定量的增溶剂，或者酒精等原料，以确保透明外观。即便如此，其中可添加的油溶性成分含量仍然非常有限，所以其滋润，保湿等功效主要都来自水溶性成分，这一定程度上也局限了它的最终效果。

(2) 乳液型：此类化妆水介于透明化妆水和乳液之间，外观为乳白色，也有一些外观为半透明状。配方中较之透明化妆水，其中油份的含量偏高，因此滋润效果明显提高。

### 2、不同作用：

(1) 收敛水：又成为收缩水，紧肤水，爽肤水。一般为弱酸，以透明外观为主。作用机理：化学角度：收敛作用是由于酸及具有蛋白质作用的物质表现出来的特点。物理角度：酒精，薄荷醇所带来的清凉感，水分，酒精蒸发导致皮肤暂时性温度降低，使毛孔收缩。医学角度：帮助受伤皮肤愈合，加快组织生长。常用原料：酒精，薄荷醇，柠檬酸，金缕梅提取液，尿囊素等等。

(2) 柔肤水：以软化角质，是皮肤柔软，嫩滑为特点，一般 pH 为若碱性。

作用机理：通过添加微量有机碱或者无机碱来软化角质层。常用原料：KOH, NaOH.

(3) 平衡水：调节皮肤酸碱性及水分。但实际上我以前也在皮肤 pH 的专篇中说明过，皮肤本身就具有调节 pH 的能力，而且现在洁面产品通常都是弱酸性，所以没有必要再靠化妆水来调节皮肤的 pH。

作用机理：添加具有调节作用的 pH 缓冲剂

常用原料：乳酸盐。

(4) 清洁水：主要用于淡妆卸装和清洁皮肤，但清洁，卸装能力都不强，只能作为专业卸装油，洗面奶的补充，不能替代他们。作用机理：与洗面奶相同，以表面活性剂的清洁能力为主。所以并没有特别之处。常用原料：温和性非离子型或两性表面活性剂。

(5) 其它：比如营养水，美白水等等。这些都是在以上的基本类型上，再适当添加相应的功能型成分。不过由于化妆水对油性成分溶解能力有限，所以无论是添加还是选择种类都极大地限制了产品功效。

### 3、误区：

(1) 过分夸大化妆水功效：实际上化妆水的功效完全可以通过洗面奶，膏霜来达到，并不是缺它不可。化妆水中常用的原料在洗面奶，膏霜中也经常被使用，尤其是在一些成套产品中，那些功效成分可能在不同产品中都有添加。

(2) 化妆水能补水：一说道保湿，大家都会想到补水。但由于水的分子量较大，基本很难被皮肤吸收，所以补水的说法根本就是错误。水分在脸上很快就会被蒸发，靠水分只能带来短时间的滋润感。

(3) 酒精：很多消费者对酒精反感，不可否认很多人会对酒精过敏。在化妆品所用的酒精是改性酒精，不仅气味更小，刺激也较寻常酒精有所降低。应该说它对于健康的肌肤是无害的，像收敛水中含有适量的酒精具有消炎、杀菌、清凉，收敛毛孔等作用，对油性肌肤和易长青春痘的肤质尤其适用。

(4) 过敏：其实化妆水中潜在的过敏源很多，比如增溶剂，香精，防腐剂，植物提取物。尤其是植物提取物，在普通人心目中由于其源自天然，而给人无伤害的印象。那绝对是错误。

(5) 土法检测：有人说通过摇化妆水，看它泡沫多少来判断其好坏，这个方法不正确。化妆水应该是以无泡为好，因为其配方中有发泡力的就是增溶剂，而泡沫越多则说明增溶剂多，或者就是油性成分少。增溶剂越多，则肤感越粘滞，过敏可能性越大。

### 4、如何选择：选择化妆水之前，一定先要确定自己的肤质，然后选择合适的化妆水。

(1) 干性、中性肤质 宜选用含有保湿成分的化妆水，最常见的保湿成分有甘油、山梨醇、天然保湿

因子、粘多糖类、聚乙烯醇、丙二醇、醣醛酸等，此类产品以选择半透明或乳液型化妆水为佳，一般透明化妆水的保湿能力有限。因为中性肤质在秋季如果不加以精心养护很容易转变为干性肤质，所以也要与干性肤质一样选用含有高效保湿成分的化妆水。对于一些混合型皮肤如果秋冬季节油脂分泌不是那么旺盛，也可以选择一些中等保湿性的化妆水。

(2) 油性、混合性，易长痘痘型肤质 宜选用含有酒精成分的化妆水，含有酒精成分的化妆水有再次清洁、收缩毛孔、

抑制油分的作用，多数适宜油性、混合性肤质使用的化妆水中同时含有软化角质的成分，可帮助油腻皮肤加速清除老化细胞，去角质成分能令老死细胞迅速脱落，使肌肤更清爽。

通常去痘化妆水中会含有水杨酸，因为它能够帮助角质剥落，有一定杀菌，去痘作用。但是有些人对水杨酸过敏，所以购买时要看清成分(一般水杨酸这类成分都会有表示)。

(3) 受损、敏感性肤质 宜选用含有消炎、镇定成分的化妆水，许多纯天然植物提取成分都是很好的消炎、

镇定剂，例如甘草萃取精华、金缕梅精华、常春藤精华、芦荟精华、薰衣草精华及尿囊素等。

实际购买产品时推荐油性，毛孔粗大皮肤一定要选择针对性产品，因为这方面化妆水具有一定独特功效，可帮助控制油脂分泌，收敛毛孔。而其它类型皮肤可考虑以保湿，滋润为主。因为美白，抗衰老等功效如选择专门的精华素，乳液，膏霜之类效果更好。

如果平常会使用粉底液，或者带有 spf 指数的日霜，隔离霜，防晒霜之类推荐选择一款滋润型半透明或乳液型化妆水。因为此类化妆水保湿能力强，滋润效果更久，使用后可使皮肤滋润，光滑，从而起到帮助防晒霜，隔离霜等含有一定粉剂，较难涂抹的产品在脸上涂布的作用，并且可以是粉底更好地附着在脸上，使妆容更持久。

### 3、分散作用

使非水溶性物质在水中成微粒均匀分散状态的现象称为分散作用。分散过程中，表面活性剂分子的亲水基一端伸在水中，亲油基一端吸附在固体粒子表面，在固体的

表面形成了亲水性吸附层。活性剂的润湿作用破坏了固体微粒间的内聚力，使活性剂分子进入固体微粒中，变成小质点分散于水中。(提问：分散与乳化有什么区别?) 化妆品的分散系统包括粉体、溶剂及分散剂三部分。粉体可分为无机颜料、有机颜料两类；溶剂则分为水系、非水系两类；作为媒介的分散剂又有亲水性(适用于水系)与亲油性(适用于非水系)两类。因此系统有多种组合方式，实际生产上它们混在复杂的系统中加以利用的情况较多。用于分散颜料的表面活性剂很多既是乳化剂又是分散剂，如烷基醚羧酸盐、烷基磺酸盐等，它们都有很好的分散性能。但口红等化妆品常会因汗和皮脂的破坏而影响化妆效果，近年来出现的硅酮酸则不会产生此类问题。硅酮酸是以硅油为基质，以耐油性、耐水性好的非离子型聚醚变性硅酮为活性剂，能使颜料不被破坏，是适用于各种皮肤的化妆佳品。

#### 4、清洁洗涤、柔软去静电、润湿渗透作用

表面活性剂在化妆品上的应用除了乳化、增溶、分散等主要用途外，还有清洁洗涤、柔软去静电和润湿渗透等作用。

**知识点介绍：**洗涤剂的选择与使用 合理选择洗涤剂：家庭应慎选清洁剂品牌，避免使用合成洗衣粉，最好选用无磷、

无苯、无荧光增白剂的肥皂粉，或是选用低磷、低苯洗衣粉，但使用时一定要漂洗干净。

正确使用洗涤剂：①各种清洁剂要独立存放，单独使用，不可混合使用。②用洗涤剂清洗餐具后，一定要用清水充分冲洗。自来水冲洗应持续5分钟以上。③注意使用方法。因为再好的清洁剂，若使用不当，也会给健康带来或多或少的影响。例如，用洗洁精洗蔬菜、水果时，洗涤液浓度应为0.2%，浸泡时间以5分钟为宜；浸泡后还需反覆用流动清水冲洗。用厨房洗涤剂洗餐具时，洗涤液浓度应为0.2%-0.5%，浸泡时间以2-5分钟为宜，浸泡后反覆用流动清水冲洗；冲洗每件物品不能少于10秒钟等。

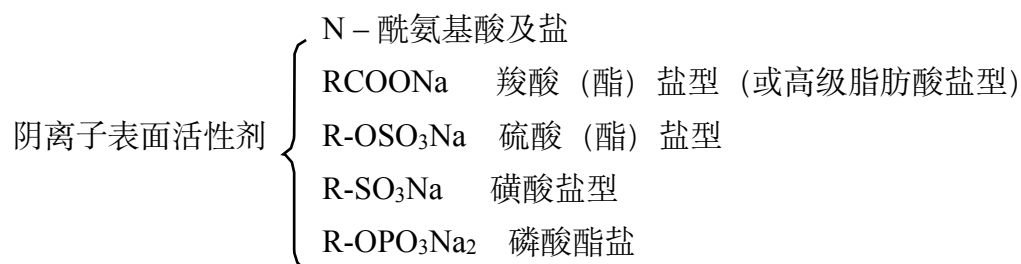
使用洗涤剂的误区

(1) 有人把多种洗涤剂、消毒剂混合使用，以为去污清洁效果好，殊不知这样会对人体健康产生危害。尤其是洁厕灵与漂白粉、消毒剂的组合可能会对人体造成致命的危害。专家指出，由于洁厕剂是用盐酸勾兑成的，氯的含量较高，所以当洁厕粉与漂白粉合用或漂白粉与含氨类清洁剂合用时就会产生有毒的氯气，使人的眼、鼻、咽喉受到刺激，严重者还会烧伤肺部。另外，喷雾型的消毒剂、清洁剂特别是除臭剂、空气清新剂等混用，也会发生化学反应，对人体产生危害。

据报载，广州一家庭主妇在家打扫卫生时突然晕倒，家人发现后，将她送到医院抢救，半小时后这名主妇停止呼吸。法官化验其血液和胃液，确认是氯气中毒。分析原因，竟是这名主妇为了获得更强的去污能力，把家用洗涤剂、浴液和洁厕精等3类共5种洗涤用品混合使用，致使发生化学反应产生氯气，导致悲剧产生。

(2) 有人认为家用洗涤剂杀菌消毒去污力强，放得越多洗得越干净，为了增加效果可以多浸泡一段时间，事实上这是一种错误的认识。目前市场上出售的普通洗洁剂可以除果蔬表面的大部分农药残余，但不具备消毒、杀菌功能，相反浸泡时间过长，细菌会随着洗涤残液进入人体。用洗涤液清洗过后的餐具必须用自来水漂洗两次以上。用洗涤剂清洗蔬菜、水果时，浸泡时间要根据果蔬表皮的不同情况而定，比如洗草莓之类表皮不光滑的，浸泡十几秒即可，否则洗涤剂会有残留。洗青菜，只需浸泡30秒，为最大限度地去除残留的洗涤剂，应该用自来水至少清洗两次。

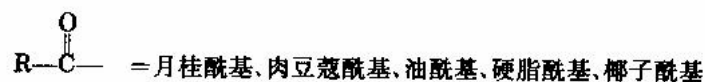
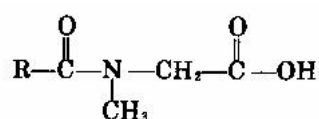
## 五、阴离子表面活性剂



### 1) N-酰氨基酸及其盐

N-酰氨基酸是由α-氨基酸的氨基酰化后制得，配基部分可以由单一的脂肪酸或天然脂肪酸引入，由于氨基酸中的氨基的电性被中和，酰化的氨基酸与一般氨基酸不同，它属阴离子表面活性剂，而一般氨基酸属两性表面活性剂。

(1) N-酰基肌氨酸(N-Acyl sarcosine)结构式为:

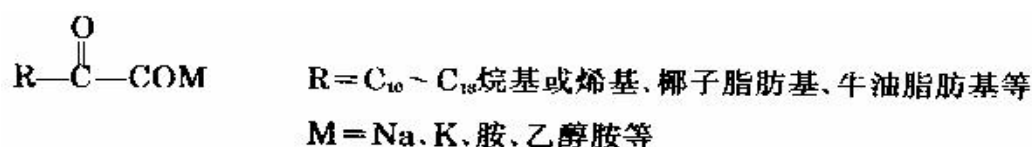


**用途:** 用于低刺激香波，有增泡和稳泡作用，对头发亲合性强，用作调理香波，改善头发梳理性，减少静电。用于皮肤清洁剂，治疗面部粉刺，它可与水杨酸和过氧化苯甲酰等匹配，不影响其活性，对易过敏皮肤也可反复使用。刺激性极低，用于含药化妆品，如去头屑香波、治疗粉刺膏霜等。在口腔制品中应用很广，如口腔清洗剂

和牙膏等，它可吸附在齿避上，抑制己糖激酶的生长，防止牙齿腐烂。此外，它还可用作香皂和浴皂添加剂。安全性：N—酰肌氨酸已在化妆品和洗涤用品方面安全应用几十年，对皮肤不会产生过敏和刺激，安全性非常高。

## 2) 羧酸（酯）盐型

(1) 羧酸盐型 如肥皂一般是含碳 14~18 个的羧酸盐。羧酸盐分为单价羧酸盐(如钠、钾、胺和乙醇胺盐等)和多价羧酸盐(如钙、镁、锌和铝盐等) 多价羧酸盐表面活性不突出，称为金属皂。结构式为：

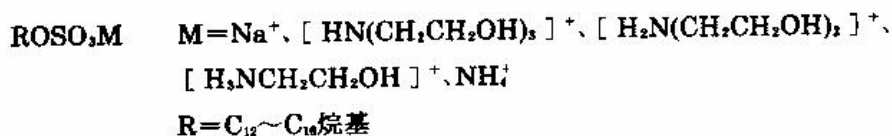


单价羧酸盐也称皂类，它是最古老的、应用最广泛的阴离子表面活性剂，钠和钾盐主要用作皂基。化妆品方面的应用也很广泛，利用配方中羧酸与相应的碱反应生成羧酸盐作为乳化剂，制备 O/W 型膏霜或乳液。

**用途：**主要用作皂基、各种乳浓和膏霜基体。安全性：化妆品使用的脂肪酸是天然脂肪酸，对正常的健康皮肤不会引起不良反应。碱金属盐类略呈碱性，曾报道对某些人稍有刺激的感觉，可能是由于月桂酸存在引起的。市售皂粉为脂肪酸钠，精制的皂基（粉）是香皂的基质。

## 3) 硫酸（酯）盐型

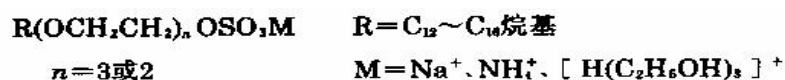
(1) 烷基硫酸酯盐(Alkyl sulfates, 简称 AS), 结构式为：



**用途：**用作 O/W 型乳化剂、润湿剂和悬浮剂。它是香波和皮肤清洁剂使用较广的表面活性剂之一。最常用的是月桂醇硫酸酯盐，其溶解性略差，倾向产生闪泡，一般与其他非离子或阴离子表面活性剂复配能增加泡沫的稳定性和粘度，并降低其对皮肤的脱脂能力。

安全性: AS 在高浓度和吸留在皮肤上时, 有刺激性。它能促进皮肤对其他物质的渗透和使表皮组织脱脂。在化妆品使用条件下, AS 是安全的。

(2) 烷基聚氧乙烯醚硫酸酯盐(Alkyl ether sulfates, 简称 AES), 结构式为:

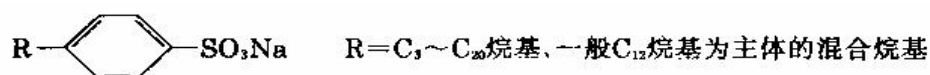


用途: AES 用作香波的主要表面活性剂, 较少用作乳化剂, 但也用于皮肤清洁剂和沐浴制剂。一般, 与其他阴离子、非离子和两性表面活性剂复配。国内, 使用钠盐为主, 国外, 使用三乙醇胺盐和铵盐较普遍。

安全性: 对皮肤渗透作用与 AS 相近, 对皮肤刺激性略低于 AS。AES 略较 AS 安全。

#### 4) 磺酸盐型

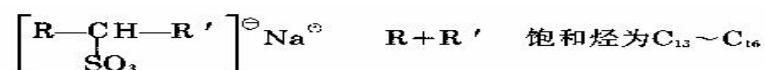
(1) 烷基苯磺酸盐(Alkylaryl sulfonates, 简写 LAS — Na), 结构式:



用途: 长链烷基苯磺酸盐主要用于各类洗涤剂, 在化妆品中应用不很广泛, 它们的去污力太强, 以致洗后的头发和皮肤留下干和粗糙的感觉。主要用于洗衣粉。如与其他表面活性剂复配可用于洗涤类化妆品, 如泡沫浴剂和抗脂溢性皮炎制品。

安全性: 能把脂质从皮肤除去, 对皮肤有中等刺激性, 使用三乙醇胺盐较温和, 复配可降低刺激性。

(2) 烷基磺酸盐(Alkyl sulfonates or paraffin sulfonates, 简称 SAS), 结构式:



用途: SAS 的制造工艺较简单, 产品稳定性好, 刺激性低, 去污性能好, 易于生物降解。它是一种很有发展前途的表面活性剂。

安全性: 对皮肤无致敏作用, 质量分数为 1% 溶液皮肤(兔)敷贴试验和急性眼刺激试验为稍有刺激性。

## 六、阳离子表面活性剂

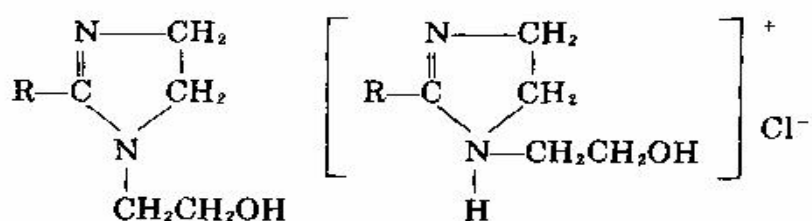
阳离子表面活性剂在水中离解出具有表面活性的阳离子, 它的电荷与阴离子表面活性剂相反, 故常称为“逆性肥皂”。就其化学结构而言, 它至少合有一个长链的疏

水基和一个带有正电荷的亲水基团。其中脂肪胺是阳离子表面活性剂的重要原料。

阳离子表面活性剂按其结构可分成下列六类：

- (1) 烷基胺盐
- (2) 烷基咪唑啉盐
- (3) 乙氧基化胺类
- (4) 季铵盐
- (5) 杂环阳离子表面活性剂
- (6) DNP 阳离子表面活性剂

1) 烷基咪唑啉盐。结构式为：



I: 2-烷基-羟乙基咪唑啉      II: 2-烷基-羟乙基咪唑啉盐酸盐

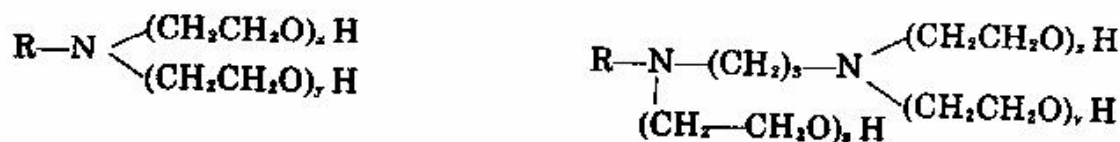
R = 辛基、油酸脂肪基、硬脂基、椰子脂基、妥尔油脂基

成盐所用的酸：乙酸、羟基乙酸、磷酸、盐酸、硫酸

**用途：**在化妆品中，它主要用作调理剂、乳化剂、抗静电剂和抗菌剂等，用于香波、护发素和一些护肤品。在其他工业中用作纤维柔顺剂、洗涤剂、润湿剂和缓蚀剂。

**安全性：**属有机中强碱，pH 值较高，对皮肤和眼睛有较大的刺激性。制成盐后刺激性大大地降低。

2) 乙氧基化胺类。结构式为：



PEG - n 烷基胺

n 为 x+y 的平均值

PEG - n 烷基胺基丙胺

n 为 x+y+z 的平均值

R = 椰子脂基、牛油脂基、油酸脂基

**用途：**主要用作乳化剂和调理剂，它也有助于固体悬浮。此外，在其他工业中，

也用作乳化剂，抗静电剂和缓蚀剂。

安全性：急性经口毒性很低，浓液对眼睛和皮肤有刺激作用，但作为调理剂加入护发和护肤用品中，可认为是安全的。

3) 季铵盐 季铵盐是应用最广的一类阳离子表面活性剂。在结构上，季铵盐可以看作是用有

有机基团取代铵离子的四个氢原子后所形成的阳离子表面活性剂，其中的取代有机基团可以是芳香族或脂肪族的疏水基，或者由环氧乙烷之类的亲水基所组成。季铵盐中至少有一个氮原子通过共价键与四个有机基团相连接，形成带正电荷的氮原子。季铵盐碱性较强，在酸性或碱性介质中都具有稳定性，热稳定性也较好。

季铵盐突出的特性是对有负电荷的固体表面的吸附作用和杀菌消毒作用。其润湿作用、发泡和乳化作用在各种季铵盐之间存在较大的差别，具有很有限的洗涤作用。一般季铵盐与其他制剂复配时应特别注意，其禁配化合物有阴离子表面活性剂、氧化物、柠檬酸钠、蛋白质和一些高分子化合物等。这些禁配物最易导致其杀菌力降低或产生混浊、沉淀。

季铵盐的化学结构(一个带正电的氮原子周围围绕着一个或多个烷基团)使得它易于和头发亲和并适于作调理剂。过去的数年间便积累了大量的数据来验证其表现、稳定性和安全性。其次，季铵盐仍然是今天很经济的调理成分。

常见的季铵盐有：

(1) 阳离子纤维素聚合物 又称聚纤维素醚季铵盐，是由纤维素或其衍生物进行季铵化后得到的产物，属于聚季铵盐(polyquaternium)类。如聚季铵盐-10，它是由羟乙基纤维素与三甲铵取代环氧化物反应生成的聚季铵盐系列产品。

性质：对头发和皮肤具有很好的护理调节作用，对蛋白质基层具有附着性，使头发保持光泽，使皮肤表面有一种如丝一般平滑的舒适感，富有弹性，它对头发的末梢分叉具有修补作用，与阴、两性、非离子表面活性剂有良好的配伍性和相容性，对人体的皮肤和眼睛无任何急性毒性作用。

聚季铵盐-10：是阳离子纤维素衍生物的聚合物(羟乙基纤维素与三甲基铵的聚季铵盐)。此种产品中的 JR-400、JR-125 已为我国化妆品所应用。美国国民淀粉化学有限公司所生产的聚季铵盐-10 产品的商品名称为 Celquat SC-240、Celquat SC-230M,都是

水溶性的阳离子聚合物，具有高度的阳离子特性，能与大多数两性和阴离子表面活性

剂相配伍，广泛用于护发和护肤产品。

聚季铵盐-4：美国国民淀粉化学公司生产的，商品名称是 CelquatH-100，CelquatL-200，均是水溶性阳离子纤维素共聚物，具有优良的阳离子特性和超强的配伍性，其中 Celquat L-200 的粘度较低，阳离子活性较高，而与阴离子表面活性剂的配伍性比 Celquat H-100 差；具有很好的成膜性，薄膜光亮、坚韧，广泛用于护发素、香波、固发液、摩丝、啫喱膏和护肤液及膏霜中。

还有聚季铵盐-11、聚季铵盐-6、聚季铵盐-7、聚季铵盐-22、聚季铵盐-39 等。

(2) 瓜耳胶羟基丙基三甲基氯化铵 (**guar hydroxypropyl demethyl ammonium chloride**)

**性** 能：白色或黄色粉末，加水时略变混浊。具有阳离子的特性，对头发有明显的亲合力，有调理性，对湿头发梳理性好，使头发柔软、顺从，具有抗静电效果。几乎能和所有化妆品用表面活性剂相配伍，甚至可以和脂肪醇硫酸酯和脂肪醇醚硫酸酯等阴离子表面活性剂相配伍。具有增稠性和使乳液稳定的性质。

**用** 途：用于洗发剂和护发剂的多功能添加剂。它可作为调理剂、后处理剂、抗静电剂、增稠剂、稳定剂。可作调理香波，泡沫虽略有下降，但手感会更细腻。改善湿发梳理性，意味着干发手感更光滑、柔松、自然飘散。还可制作护发产品、润丝剂、头发再生剂。在头发产品适宜用量有 0.3 ~ 2%，最后成品可配成带有珠光光泽。也可用于膏霜中。

**知识点介绍：**肥皂、皂粉、洗衣粉和洗衣液的选择

(1) 肥皂。刺激性比较小。肥皂的主要成分是硬脂酸钠，既有亲水性，又对油污具有亲和力，所以去污效果良好。此外，肥皂因为多由天然材料制成，对皮肤的刺激性比较小。但是，当肥皂遇到硬水中的钠盐或镁盐时，便会生成难溶于水的钙肥皂与镁肥皂，沉积在衣物的纤维缝隙里，既造成浪费，又难将衣物漂洗干净，会使衣物发黄或褪色。

(2) 洗衣粉。不要直接接触皮肤。洗衣粉是用石油化工产品为原料，经过一系列反应制成的，一般呈弱碱性，碱性越强去污效果越好，但是对衣物的损害也就越大。它在各种水质中都能保持良好的去污能力。现在，洗衣粉种类越来越多，性能也有所不同。比如，加酶洗衣粉中加入了碱性蛋白酶生物催化剂，能“消化”顽固的蛋白质

类污垢，如汗斑、奶渍和血迹等。无磷洗衣粉中聚磷酸盐的含量大大降低，更环保，而且洗涤效果一点也不比传统洗衣粉差。洗衣粉若不接触人体，基本上是安全的，但若直接接触人体或在衣物中大量残留，会使皮肤过敏，甚至影响消化功能。据日本医学专家报告，每天使用洗衣粉的家庭妇女，多数人面部都出现了“蝶状肝斑”，这是肝脏受损害的表现。

(3) 洗衣液。其洗涤效果与洗衣粉相同，而且能更充分地溶解在水里，发挥去污作用。

(4) 肥皂粉。(如超能天然皂粉) 适合洗贴身衣物。近年出现的肥皂粉是一种把洗、护功能结合起来的洗涤产品，具有天然、强去污、超低泡、易漂洗等特点。它的活性物质主要是脂肪酸，原料 90% 以上来自可再生的植物油脂，且不含聚磷酸盐。

肥皂粉对皮肤的刺激性低，且保护织物，洗后的衣物无需使用柔顺剂就蓬松柔软，解决了多次洗涤后织物污垢积淀、硬化、带静电等问题。由于肥皂粉中添加了特种钙皂分散剂，所以去污力更强，是普通洗衣粉的 1.3 至 1.5 倍；它还不像肥皂那样对水有要求，即使在低温和高硬度水中仍然表现出优良的洗涤性能。肥皂粉还克服了洗衣粉刺激皮肤的缺点，洗涤效果也更出色。

在使用洗涤剂时，还应该根据衣物性质选择合适的洗涤用品，并根据衣物多少与脏净程度严格控制用量。洗衣液较适合清洗轻柔衣物；洗衣粉更适合清洗牛仔衣、厚重的外套以及窗帘、沙发罩等；天然皂粉更适合洗贴身衣物、婴幼儿的衣裤和尿布等手洗衣物。

洗完衣服后，一定要漂洗干净，以没有泡沫为准。这样既能保护织物，又能避免残留的化学成分进入人体。

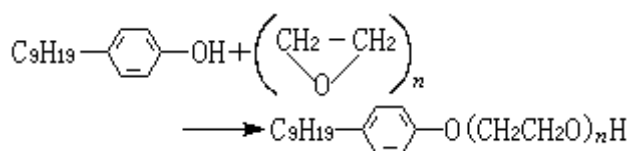
## 七、非离子表面活性剂

非离子表面活性剂溶于或悬浮于水中不离解成离子状态，其分子也含有亲油基和亲水基，但其表面活性是由整个中性分子体现的。非离子表面活性剂的亲油基是由高碳脂肪醇、烷基酚、脂肪酸、脂肪胺和油脂等提供。亲水基是在水中不离解的羟基—OH 和醚键结合—O—，它们是由环氧乙烷、多元醇、乙醇胺等提供的。由于这些亲水基团在水中不离解，故亲水性极弱，因此，只靠一个羧基和醚键结合是不能将很大的憎水基溶解于水的，它必须有多个这样的基结合，才能发挥它的亲水性。很大部分的

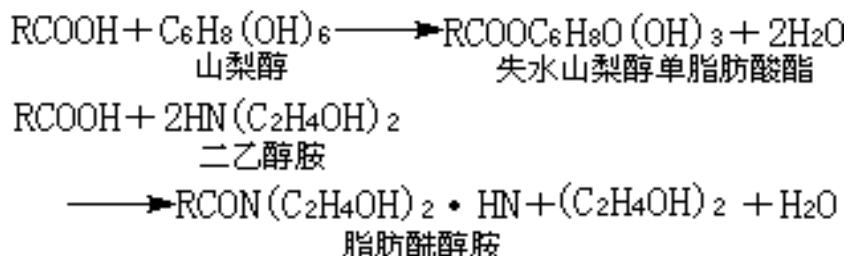
非离子表面活性剂含有环氧乙烷,亲油基上加成的环氧乙烷分子数(n)越多,醚键结合-O-数就越多,亲水性也就越大,就越容易溶于水。非离子表面活性剂在水中的溶解行为与离子型表面活性剂不同,含有醚基或酯基的非离子表面活性剂在水中的溶解度随温度的升高而降低,当超过某一温度(浊点)时,溶液会出现混浊和相分离。混浊和相分离是可逆的,冷却时又可以恢复。当温度低于某一点时,混合物再次成为均相,这个温度称为“浊点”。

按亲水基类别,非离子表面活性剂主要分为聚氧乙烯型和多元醇型两大类。聚氧乙烯型:用含有活泼氢原子的亲油基原料和环氧乙烷进行加成反应而制成。

凡含有-OH、-COOH、-NH<sub>2</sub>、-CONH<sub>2</sub>等基团的亲油基原料,由于其中的氢原子是化学活泼的,容易与环氧乙烷发生加成反应,生成聚氧乙烯型表面活性剂。如:



多元醇型:由含有多个羟基的多元醇、烷基醇胺或糖类与高级脂肪酸生成的酯类或酰胺类化合物。



(1) 脂肪酸甘油酯:

主要有脂肪酸单甘油酯和脂肪酸二甘油酯。

性质:不溶于水,在水、热、酸、碱及酶等作用下易水解成甘油和脂肪酸,HLB3~4,表面活性弱。

应用:主要用作W/O型辅助乳化剂。

(2) 蔗糖脂肪酸酯 简称蔗糖酯,是蔗糖和脂肪酸反应生成的一大类化合物。根据脂肪酸取代数不

同分为:单酯、二酯、三酯及多酯。

**性质**：溶于丙二醇、乙醇，但不溶于水和油；在酸、碱及酶等作用下易水解成蔗糖和脂肪酸，HLB5~13，表面活性弱。

**应用**：主要用作 O/W 型乳化剂、分散剂。

(3) 脂肪酸失水山梨醇酯：司盘类[Spans]

即脱水山梨醇脂肪酸酯。是山梨糖醇及其单酐和二酐+各种脂肪酸→Spans(混合物)

根据脂肪酸品种数量不同分为：

Span	-20	-40	-60	-65	-80	-85
脂肪酸	单月桂	单棕榈	单硬脂	三硬脂	单油	三油

**应用**：HLB1.8~3.8，因其亲油性较强，一般用作水/油乳剂的乳化剂。用于搽

剂，软膏，亦可作为乳剂的辅助乳化剂。

(4) 聚氧乙烯脱水山梨醇脂肪酸酯：吐温类[Tweens]

根据脂肪酸品种数量不同分为：

Tween	-20	-40	-60	-65	-80	-85
脂肪酸	单月桂	单棕榈	单硬脂	三硬脂	单油	三油

**应用**：亲水性大大增加，为水溶性表面活性剂，用作增溶剂、乳化剂、分散

剂和润湿剂。

(5) 椰油酸二乙醇酰胺 (6501)

**结构**：RCON(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>2</sub>，R=椰油基

**应用**：具有增稠、润湿、强净洗、乳化、发泡及稳泡、无毒（不损伤皮肤，并保持织物柔软）耐硬水等性能，与其他表面活性剂复配，具有良好的增稠、分散污垢粒子的作用(对阴离子表面活性剂有较好的稳泡作用)DJ-6501可应用于香波、液体洗涤剂、餐具洁净剂、织物清洗剂、化纤纺丝油剂、配制金属防锈洗涤剂及涂料剥离剂等。

## 八、两性表面活性剂

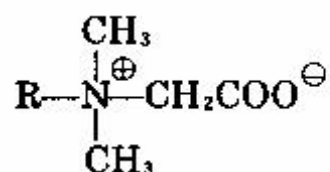
两性表面活性剂是指分子结构中具有阳离子亲水基团，又同时具有阴离子亲水基团；在强酸性的介质中，亲水基团带正电荷，表现出阳离子表面活性剂特性；在强碱性的介质中，亲水基团带负电荷，表现出阴离子表面活性剂特性；在中性介质中呈两性。

两性表面活性剂低毒性，对皮肤、眼睛刺激性低，耐硬水和较高浓度的电解质，有一定的杀菌性和抑菌性，有良好的乳化和分散效能，对织物有优异的柔软平滑和抗静电作用，可与几乎所有其他类型的表面活性剂配伍，并有协同效应，可吸附在带负电荷或正电荷的物质表面上，而不会形成憎水膜，因此，有很好的润湿性和发泡性，它还有良好的生物降解性。

两性表面活性剂可分成下列三类：

- (1) 甜菜碱类
- (2)  $\beta$ -氨基丙酸类
- (3) 咪唑啉类

1) 甜菜碱类。结构式为：



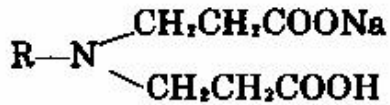
甜菜碱系表面活性剂包括羧酸型、硫酸酯型和磺酸型甜菜碱。甜菜碱系两性表面活性剂的基本分子结构是由季铵盐型阳离子和羧酸型阴离子(或其他类型阴离子)所组成。羧酸型甜菜碱在等电点和等电点以上的 pH 值时呈两性(即中性和碱性 pH 值范围),在等电点以下(即酸性 pH 范围)呈阳离子性质,它不表现出阴离子的性质。除了在很低 pH 值范围与阴离子表面活性剂产生沉淀外,它们可与所有类型的表面活性剂匹配。

**用途：**可用洗涤剂、稳泡剂、增泡剂、增稠剂、调理剂等。**安全性：**对皮肤和眼睛的刺激性很低，与其他表面活性剂复配物对皮肤和眼睛很少或几乎不产生刺激。

2)  $\beta$ -氨基丙酸类。结构式为：



*N*-烷基-β-氨基丙酸



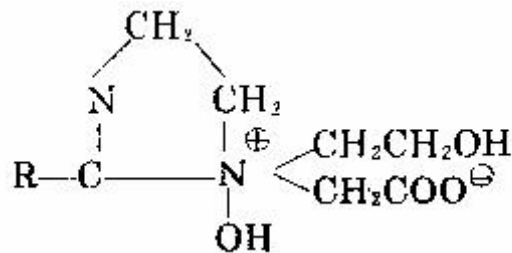
R=椰子基、月桂基、牛油基、肉豆蔻基

*N*-烷基-β-亚氨二丙酸单钠盐

**用途:** 在中性或碱性 pH 值范围内, 有优良的发泡能力。在低 pH 值时, 表现出阳离子性质, 失去发泡能力。处于两性状态时, 对头发有很好的亲合力, 适用于所有类型发类制品。它们也可用作乳化剂。

**安全性:** 对皮肤和眼睛的刺激件很低。

3) 咪唑啉类。结构式为:



**用途:** 两性咪唑啉类表面活性剂是温和的洗涤剂, 其乳化能力较差。它们可与所有类型的表面活性剂匹配, 对硬水的容忍度较高。它们能与阴离子表面活性剂络合, 减少阴离子表面活性剂对眼睛产生的刺激, 但又不影响其发泡作用。两性咪唑啉类表面活性剂广泛用于温和香波和沐浴制品。含有两性咪唑啉的香波能使头发柔软, 易梳理和抗静电。一般使用的 pH 值范围为 6.5-7.5。

**安全性:** 浓溶液(w > 20%)会刺激眼睛, 但在一般使用浓度条件, 对眼睛和皮肤刺激性很低或不产生刺激。急性口服毒性也很少。可认为是无毒的。

3、其它表面活性剂。如磷脂、茶皂素等。

化妆视频1: 洁肤护肤知识

授课日期

2026年6月1日

教案编号

7

课程名称	表面活性剂	专业班级	化妆品技术 241、 241(3+)
教材名称	表面活性剂		
授课题目	第七章 表面活性剂的复配		
授课学时	2节 ( )；3节 ( )；其它 (√)		
课 型	理论 (√)；实验 ( )；见习 ( )；实训 ( )；其它 ( )		
教学目的	1.了解表面活性剂复配的类型 2.理解表面活性剂复配的影响因素 3.掌握表面活性剂的复配原理		
教学重点	表面活性剂复配的类型		
教学难点	表面活性剂的复配原理		
教学方法	讲授 (√)；讨论 (√)；指导 ( )；示教 ( )；其它 ( )		
电子教案	有 (√)	Microsoft PowerPoint ( )；Author ware ( )；其它 ( )	
	无 ( )		
教学资源	多媒体 (√)；模型 ( )；标本 ( )；实物 ( )；音像 ( )；其它 ( )		
教学过程 时间安排	第一节 表面活性剂复配的类型 第二节 表面活性剂复配的影响因素 第三节 表面活性剂的复配原理		
思考题	表面活性剂的复配方式中，哪一种的增效作用最大？		
作 业	P172 3,4		

## 第七章 表面活性剂的复配

表面活性剂相互间或与其他化合物的配合使用称为复配，在表面活性剂的增溶应用中，如果能够选择适宜的配伍，可以大大增加增溶能力，减少表面活性剂用量。

1.与中性无机盐：在离子表面活性剂溶液中加入可溶性的中性无机盐，增加医学教育网搜集整理了烃类增溶质的增容量。相反对极性物质的增容量降低。

2.与有机添加剂的配伍：一般以碳医学教育网搜集整理原子在 12 以下的脂肪醇有较好效果。一些多元醇如果糖、木糖、山梨醇等也有类似效果。与之相反，一些短链醇不仅不能与表面活性剂形成混合胶束，还可能破坏胶束的形成，如 C1 ~ C6 的醇等。

极性有机物如尿素、N-甲基乙酰胺、乙二醇等均升高表面活性剂的临界胶束浓度。

3.与水溶性高分子的配伍：明胶、聚乙烯醇、聚乙二醇及聚维酮等水溶性高分子对表面活性剂分子有吸附作用，减少溶液中游离表面活性剂分子数量，临界胶束浓度因此升高。

### 一、协同效应：

表面活性剂复配的目的是达到加和增效作用，即协同效应。即把不同类型的表面活性剂人为地进行混合，得到的混合物性能比原来单一组分的性能更加优良，也就是通常所说的“1+1 > 2”的效果。

例如：十二烷基硫酸钠中混有少量的十二醇、十二酰醇胺等物质，可改善其在洗涤剂配方中的起泡、洗涤、降低表面张力、乳化等性能。

表面活性剂的复配可以产生加和效应，已经应用到了实际的生产中，但其基础理论方面的研究仍只是近几年的事，其结果可以为预测表面活性剂的加和增效行为提供指导，以便得到最佳复配效果。但其研究仍处于初级阶段，主要集中在双组分复配体系。在复配体系中，不同类型和结构的表面活性剂分子间的相互作用，决定了整个体系的性能和复配效果，因此掌握表面活性剂分子间相互作用是研究表面活性剂复配的基础。

### 二、表面活性剂分子间的相互作用参数

表面活性剂的两个最基本性质是表面活性剂的表面吸附及胶束的形成。因此，加和增效的产生首先会改变体系的表面张力和临界胶束浓度。一般情况下，当两种表面活性剂产生复配效应时，其混合体系的临界胶束浓度并不等于二者临界胶束浓度的平均值，而是小于其中任何一种表面活性剂单独使用的临界胶束浓度。造成这种情况的原因就是表面活性剂分子间的相互作用。

复配使用的两种表面活性剂，会在表面上形成混合单分子吸附层，在溶液内部形成混合胶束。无论是混合单分子吸附层还是混合胶束，两种表面活性剂分子间均存在相互作用。其相互作用的形式和大小可用分子间相互作用参数 $\beta$ 表示。

表面活性剂分子间的相互作用参数 $\beta$ 值和两种表面活性剂混合的自由能有关,  $\beta$ 值为负值表示两种分子相互吸引;  $\beta$ 值为正值时, 表示两种分子相互排斥;  $\beta$ 值接近 0 时, 表明两种分子间几乎没有相互作用, 近乎于理想混合。许多学者通过大量实验和计算发现 $\beta$ 值一般在-2 (弱排斥) 到-40 (强吸引) 之间。

### 三、影响分子间相互作用参数的因素

大部分混合体系的 $\beta$ 值为负值, 即两种表面活性剂分子间是相互吸引的作用。这种吸引力主要来源于分子间的静电引力, 与表面活性剂分子结构密切相关, 并受温度及电解质等外界因素的影响。

#### 1. 表面活性剂离子类型的影响

不同类型表面活性剂分子间的相互作用力大小不同, 其大小次序为

阴离子-阳离子) 阴离子-两性型) 离子型-聚氧乙烯非离子型) 甜菜碱两性型-阳离子型) 甜菜碱两性型-聚氧乙烯非离子型) 聚氧乙烯非离子型-聚氧乙烯非离子型

由于加和增效产生的概率随着两种表面活性剂分子间相互作用力的增加而增大, 因此与阴离子表面活性剂产生加和增效可能性最大的是阴离子-阳离子和阴离子-两性离子表面活性剂复配体系。而阳离子-聚氧乙烯型非离子和阴离子-阴离子复配体系只有在两种表面活性剂具有特定结构时才可能发生加和增效作用。

#### 2. 疏水基团的影响

随表面活性剂疏水基碳链长度的增加,  $\beta$ 会变得更负, 当两种表面活性剂碳链长度相等时, 混合单分子层中分子间的相互作用参数最大, 吸引力最强。而混合胶束中的 $\beta$ 值则随着碳链长度的总和的增加而增加。

#### 3. 介质 PH 值的影响

两性表面活性剂在水溶液中的例子类型随介质 PH 值的变化而有所不同。当溶液 PH 值低于等电点时, 以阳离子形式存在, 通过阳离子与阴离子表面活性剂发生作用。因此当介质的碱性或 PH 值增加, 两性表面活性剂逐渐转变为电中性分子, 甚至于负离子, 与阴离子表面活性剂的相互作用力降低。

基于同样的原因, 两性表面活性剂本身碱性较低, 获得质子的能力差, 则与阴离子型表面活性剂的相互作用也较低。

#### 4. 添加无机电解质的影响

无机电解质的添加, 会使离子型表面活性剂与聚氧乙烯型非离子表面活性剂混合体系中分子间相互作用力降低, 这说明此两类表面活性剂分子间存在着静电力的作用。

#### 5. 温度的影响

通常情况下, 在 10-40 度范围内, 分子间的作用力随温度的升高而降低。

### 四、相互作用参数 $\beta$ 的意义

相互作用参数 $\beta$ 的受很多因素的影响。了解了该参数的含义 和影响因素后, 需进一步利用它判断两种表面活性剂之间混合后是否存在复配效应, 若存在加和增效作用, 两者产生最大加和效应时的摩尔比例及该体系的性质又如何。此即引入相互作用参数 $\beta$ 的意义。

## 五、产生加和增效作用的判据

表面活性剂最基本的性质是降低表面张力和形成胶束，衡量表面活性剂活性大小主要是考察其溶液表面张力降低的程度和临界胶束浓度的大小。一般情况下，性能优良的表面活性剂能够在较低的浓度下，使溶液的表面张力下降到很低的程度并形成胶束。

### 1. 降低表面张力

在降低表面张力方面，加和增效作用是指使溶液的表面张力降低到一定程度时，所需的两种表面活性剂的浓度之和低于单独使用复配体系中的任何一种表面活性剂所需的浓度。如果这个浓度高于其中任何一种表面活性剂所需的浓度，则说明产生了负的加和增效作用。

### 2. 形成混合胶束

当复配体系水溶液形成混合胶束的临界胶束浓度低于其中任何一种单一表面活性剂的临界胶束浓度时，即称为产生正加和增效作用；如果混合物的临界胶束浓度比任何一种单一组分的高，则称产生负加和增效作用。

### 3. 综合考虑

将降低表面张力和形成混合胶束综合起来看，正加和增效是指两种表面活性剂的复配体系在混合胶束的临界胶束浓度时的表面张力低于其中任何一种表面活性剂在其临界胶束浓度时的表面张力，相反则产生负加和增效作用。

由此可以看出，引入分子间相互作用参数后，可以定性地了解两种表面活性剂分子间的作用

情况，是相互吸引还是相互排斥，作用力的强弱如何。并可通过相关公式计算并判断出两种表面活性剂混合后是否产生复配效应，并可进一步求出产生最大加和效应时复配体系的组成，即两种表面活性剂的复配比例，这为表面活性剂复配的应用提供了理论指导。

## 六、表面活性剂的复配体系

除降低表面张力和胶束的形成外，在实际应用中，表面活性剂还有很多重要的作用，如洗涤作用、发泡作用、增溶作用和润湿作用等。在这些方面的加和增效作用的仍没有成熟的理论指导，但实际应用中已总结出了一些经验，即加和增效往往与表面张力降低或形成胶束方面存在着一定的关系。

### 1. 阴离子-阴离子表面活性剂复配体系

此类复配体系若产生加和增效作用，会使表面张力降的更低，使洗涤性、去污性及润湿性和乳化性均有提高，而克拉夫特点则会降低。但需要指出的是这一体系的复配，只有在具有特定结构时才会产生加和增效作用。

### 2. 阴离子-阳离子表面活性剂复配体系

阴离子-阳离子表面活性剂分子间的相互作用力较强，他们的复配体系在降低表面张力、混合胶束的形成方面都显示了较强的加和增效作用，在润湿性能、稳泡性能和乳化性能等方面也有较大的提高。目前这一类

复配体系已经在纤维和织物的柔软和抗静电处理、泡沫和乳液的稳定等方面得到了较为广泛的应用。但应当注意的是这两类表面活性剂复配时，容易生成不溶性的盐从溶液中析出，从而失去表面活性，因此应慎重选择表面活性剂的品种。

### 3. 阴离子-两性表面活性剂复配体系

这一体系两种表面活性剂分子的作用方式与介质的酸碱性有关，泡沫高度存在最大值，降低表面张力性质上也出现最大加和增效作用。

### 4. 阴离子-非离子表面活性剂复配体系

此类复配体系既可能提高也可能降低胶束的增溶作用。不同增溶效果的出现与两种表面活性剂分子的相互作用和混合胶束的形式有关。一般认为，当非离子表面活性剂的烃链较长、环氧乙烷加成数较小时，与阴离子表面活性剂复配容易形成混合胶束。而当烃链较短、环氧乙烷加成数较大时，则容易形成富阴离子表面活性剂和富非离子表面活性剂两类胶束，他们在溶液中共存。

### 5. 阳离子-非离子表面活性剂复配体系

在阳离子表面活性剂溶液中加入非离子表面活性剂，可以使临界胶束浓度显著降低。是阳离子表面活性剂的离子基团与非离子表面活性剂的极性聚氧乙烯基相互作用的结果。

### 6. 非离子-非离子表面活性剂复配体系

多数聚氧乙烯非离子表面活性剂本身便是混合物，其性质与单一物质有较大差别，通常疏水基相同、环氧乙烷加成数相近的两种非离子表面活性剂混合时，近乎理想溶液，容易形成混合胶束，其混合物的亲水性相当于这两种物质的平均值，当两种表面活性剂的环氧乙烷加成数和亲水性相差较大时，混合物的亲水性高于二者的平均值，油溶性的品种有可能增溶于水溶性表面活性剂的胶束中。

总之，复配产生加和增效作用时，会使表面活性剂的各种性能得到改善和提高。随着这方面理论的深入，应用将越来越广，并在国民经济的各个领域发挥更大的作用。