

实用精细化学品丛书

国家教学团队建设成果

总主编 强亮生

# 工业清洗剂

—— 示例 · 配方 · 制备方法

第二版

顾大明 肖鑫礼 李加展 编著

◎ 本书结合作者20余年的教学、科研体会，收集、整理了近期国内化学清洗剂发明专利200余篇、期刊文献近百篇，详尽介绍了金属材料工业清洗剂、非金属材料工业清洗剂、交通工业用清洗剂、仪器设备工业用清洗剂、油污油墨用清洗剂、半导体工业用清洗剂等的示例、配方、制备方法。

◎ 此次修订增补了2011年至今的专利和期刊文献新配方近200例，修订后本书进一步增强了新颖性和实用性。



化学工业出版社

实用精细化学品丛书

国家教学团队建设成果 总主编 强亮生

# 工业清洗剂

——示例·配方·制备方法

第二版

顾大明 肖鑫礼 李加展 编著



化学工业出版社

·北京·

本书结合作者 20 余年的教学、科研体会, 收集、整理了近期国内化学清洗剂发明专利 200 余篇、期刊文献近百篇, 详尽介绍了金属材料工业清洗剂、非金属材料工业清洗剂、交通工业用清洗剂、仪器设备工业用清洗剂、油污油墨用清洗剂、半导体工业用清洗剂等的示例、配方、制备方法。此次修订增补了 2011 年至今的专利和期刊文献新配方近 200 例, 修订后本书进一步增强了新颖性和实用性。

本书可作为专业清洗研究人员和技术人员的重要参考书, 亦可作为高等学校或中专学校学生的教材或教学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工业清洗剂——示例·配方·制备方法/顾大明, 肖鑫礼, 李加展编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2010.10  
(实用精细化学品丛书)  
ISBN 978-7-122-28103-6

I. ①工… II. ①顾…②肖…③李… III. ①工业用洗涤剂 IV. ①TQ649.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 222250 号

责任编辑: 傅聪智  
责任校对: 宋 玮

装帧设计: 关 飞



出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司  
装 订: 三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 16½ 字数 312 千字 2017 年 2 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书于2010年1月出版以来，受到了业内读者的欢迎，作者在此表示深深的谢意！与我国各行业一样，六年多来清洗剂行业也发生了很大的变化。未来的十年将是中国制造从制造大国走向制造强国的关键十年，我国的清洗产业无疑仍是朝阳产业。但必须清醒地认识到工业清洗剂产品必须逐渐实现绿色化、精细专业化、多功能化，同时满足成本低、性能好、安全、易生物降解等要求。

正是基于这样的考虑，为满足清洗行业广大研究、生产和使用人员的需求，我们在化学工业出版社的建议下，对本书进行了修订再版，这次修订，在保持本书基本体系和风格的前提下，融入了2011年以来国内化学清洗剂期刊文献70多篇、授权发明专利80余个、验方30余个。在此向相关发明人和作者表示深深的谢意！在编写过程中对专利和文献做了整理、精简和说明，并详细标出来源，以便读者在需要时查阅原文。同时对第一版原书的部分文字进行了修改和校正。

新增文献配方由肖鑫礼收集整理，专利配方由李加展收集整理，全书由顾大明统稿。

限于作者的水平，书中难免有不妥之处，还恳请读者批评指正。

顾大明

2016年6月

# 第一版前言

工业清洗剂是一类重要的精细化学品，其用量之大、发展之快与民用洗涤剂相当。我国的现代工业化学清洗起步较晚。20世纪70年代中期，国外以高效金属缓蚀剂为核心的先进化学清洗技术随着进口的大型设备进入我国，进而垄断了我国清洗市场10余年。自1992年成立“中国清洗协会”后，化学清洗队伍随之不断发展壮大，具有我国自主知识产权的清洗技术不断涌现，仅2000年以来，我国化学清洗剂的国家发明专利申请达200余件，其中2005~2008年之间就有140余件。2009年，具有相当规模的“中国工业清洗协会”会员单位已经发展到470余家，已经完全占据国内清洗市场，并占据部分欧美等国家和地区的清洗市场。工业清洗已不再是一种简单劳动，各种绿色、环保的清洗技术不断推出，新产品和新的机械设备不断涌现，化学清洗已经渗透到几乎所有工业领域，清洗产业的全面进步已经成为国家市场经济发展不可缺少的推动力之一。目前，清洗产业在我国被誉为“朝阳产业”。自然，具有不同使用特性的工业清洗剂的研制和生产已成为清洗行业重中之重。为了满足清洗行业广大研究者和生产者的需求，我们编写了这本《工业清洗剂——示例·配方·制备方法》。

本书收集、整理了近期国内化学清洗剂发明专利200余篇、期刊文献近百篇，结合笔者20余年的教学、科研体会，希望突出实用性和新颖性。需要说明的是随“蒙特利尔协议”相关规定的执行，本书完全去除了“禁用”试剂，ODP很小的试剂在本书中只有少量的保留，并标出了这些试剂ODP值，随着2020年的逐渐临近，这部分试剂将会逐渐淡出化学清洗剂市场。

本书的编写参考了大量发明专利和期刊文献，在此向相关作者表示深深的谢意。在编写过程对专利和文献做了整理、精简及说明，均详细标出了来源以便于必要时读者直接阅读原文。

全书包括7章，第1、第4章由顾大明编写，第2、3章由刘丽丽编写，第5、第6和第7章由刘辉编写，全书由顾大明统稿。

本书可作为专业清洗研究人员和技术人员的重要参考书，亦可作为高等学校或中专学校学生的教材或教学参考书。

限于编者的水平，书中难免有不周和疏漏，恳请广大读者批评指正。

编著者

2010年6月

# 目 录

## 第 1 章 绪论 / 1

1.1 化学清洗剂的定义及去污原理 .....	1
1.1.1 化学清洗剂和污垢的概念 .....	1
1.1.2 清洗剂的作用原理 .....	4
1.2 化学清洗剂的组成 .....	6
1.2.1 溶剂 .....	6
1.2.2 清洗主剂酸或碱 .....	7
1.2.3 表面活性剂 .....	11
1.2.4 缓蚀剂——化学清洗技术的核心 .....	13
1.2.5 漂洗与钝化 .....	22
1.2.6 助剂 .....	25
1.3 工业用化学清洗剂产品与使用要求 .....	28
1.3.1 工业用化学清洗剂产品 .....	28
1.3.2 工业用化学清洗剂使用技术要求 .....	28
1.4 化学清洗剂的现状与展望 .....	28
1.4.1 化学清洗剂的发展 .....	28
1.4.2 与化学清洗剂相关的国际公约 .....	29
1.4.3 化学清洗的现状与发展趋势 .....	30

## 第 2 章 金属材料工业清洗剂 / 34

2.1 通用金属清洗剂 .....	36
2.1.1 无机金属清洗剂 .....	36
2.1.2 半水基-天然有机去油清洗剂 .....	54
2.1.3 半水基-合成有机去油清洗剂 .....	60
2.1.4 有机去油清洗剂 .....	68
2.2 钢材清洗剂 .....	74
2.2.1 不锈钢清洗剂 .....	74
2.2.2 碳钢带钢清洗剂 .....	76
2.2.3 黑色金属清洗剂 .....	80
2.2.4 钢件防锈钝化处理液 .....	91

2.2.5	潮湿地区室内钢铁板材用防锈液 .....	92
<b>2.3</b>	<b>金属镁铝清洗剂 .....</b>	<b>92</b>
2.3.1	镁合金除锈液 .....	92
2.3.2	铝材清洗剂 .....	92
<b>2.4</b>	<b>铜及镀锌金属清洗剂 .....</b>	<b>97</b>
2.4.1	金属铜材料清洗剂 .....	97
2.4.2	镀锌金属清洗剂 .....	100
<b>2.5</b>	<b>其他金属清洗剂 .....</b>	<b>101</b>
2.5.1	首饰清洗剂 .....	101
2.5.2	功能材料金属清洗剂 .....	103

### 第 3 章 非金属材料工业清洗剂 / 109

---

<b>3.1</b>	<b>玻璃清洗剂 .....</b>	<b>109</b>
3.1.1	通用玻璃清洗剂 .....	109
3.1.2	汽车玻璃清洗剂 .....	111
3.1.3	电子工业用玻璃清洗剂 .....	113
3.1.4	光学玻璃清洗剂 .....	114
3.1.5	无磷高效啤酒瓶清洗剂 .....	117
<b>3.2</b>	<b>建筑石材清洗剂 .....</b>	<b>117</b>
3.2.1	硅酸盐石材清洗剂 .....	118
3.2.2	碳酸盐石材清洗剂 .....	119
<b>3.3</b>	<b>结构陶瓷清洗剂 .....</b>	<b>122</b>
3.3.1	碱基清洗剂 .....	122
3.3.2	酸基陶瓷板清洗剂 .....	123
3.3.3	其他 .....	125
<b>3.4</b>	<b>有机高分子材料清洗剂 .....</b>	<b>126</b>
3.4.1	通用高分子材料清洗剂 .....	126
3.4.2	电池行业高分子材料清洗剂 .....	130
3.4.3	精密铸造行业高分子材料清洗剂 .....	131
3.4.4	高分子设备清洗剂 .....	132
3.4.5	环保型血清分离胶用有机硅清洗剂 .....	134
<b>3.5</b>	<b>其他非金属清洗剂 .....</b>	<b>135</b>

### 第 4 章 交通工业用清洗剂 / 140

---

<b>4.1</b>	<b>车船用清洗剂 .....</b>	<b>140</b>
4.1.1	车体表面清洗剂 .....	140
4.1.2	车厢内饰清洗剂 .....	143
4.1.3	汽车水箱、变速箱拖拉机零件清洗剂 .....	144

4.1.4	路面清洗剂	148
4.1.5	船舶专用化学清洗剂	150
4.1.6	其他车用清洗剂	151
<b>4.2</b>	<b>飞机用清洗剂</b>	<b>153</b>
4.2.1	飞机表面清洗剂	154
4.2.2	机舱内饰清洗剂	155
4.2.3	机场跑道清洗剂	158
<b>4.3</b>	<b>发动机清洗剂</b>	<b>159</b>
4.3.1	润滑系统清洗剂	160
4.3.2	燃油供给系统清洗剂	164
4.3.3	冷却系统清洗剂	167
4.3.4	燃烧系统清洗剂	168
4.3.5	外部表面清洗剂	171

## 第5章 仪器设备工业用清洗剂 / 174

---

<b>5.1</b>	<b>精密仪器清洗剂</b>	<b>175</b>
5.1.1	电子设备清洗剂	175
5.1.2	机械电器设备用清洗剂	182
<b>5.2</b>	<b>锅炉清洗剂</b>	<b>196</b>
5.2.1	锅炉水垢的组成及危害	196
5.2.2	锅炉化学清洗应用示例	196
<b>5.3</b>	<b>空调清洗剂</b>	<b>213</b>
5.3.1	空调器清洗剂	213
5.3.2	空调配件清洗剂	216
<b>5.4</b>	<b>其他</b>	<b>218</b>
5.4.1	循环水系统清洗剂	218
5.4.2	超滤膜清洗剂	220

## 第6章 油污油墨用清洗剂 / 224

---

<b>6.1</b>	<b>油污清洗剂</b>	<b>225</b>
6.1.1	一般油污清洗剂	225
6.1.2	工业油污清洗剂	231
<b>6.2</b>	<b>油墨清洗剂</b>	<b>235</b>
6.2.1	非水基油墨清洗剂	235
6.2.2	水基油墨清洗剂	240
6.2.3	微乳型油墨清洗剂	243



7.1 显像管和液晶清洗剂 .....	245
7.1.1 液晶清洗剂 .....	245
7.1.2 显像管清洗剂 .....	248
7.2 半导体清洗剂 .....	250
7.2.1 半导体相关清洗剂 .....	250
7.2.2 半导体硅片清洗剂 .....	253

# 第1章 绪论

20世纪70年代中期,国外相对先进的化学清洗技术随着进口的大型设备进入我国,进而垄断了我国清洗市场10余年。1992年,“中国清洗协会”成立后,具有我国自主知识产权的清洗剂和清洗技术不断占据市场。目前,我国的工业清洗已经成为“朝阳产业”,各种绿色、环保的清洗技术不断地推出,新产品和新的机械设备不断涌现,使得整个清洗产业已经渗透到几乎所有的工业领域,清洗产业的全面进步正在成为国家市场经济发展不可缺少的推动力。

## 1.1 化学清洗剂的定义及去污原理

### 1.1.1 化学清洗剂和污垢的概念

#### 1.1.1.1 化学清洗剂

化学清洗剂是用于去除污垢的化学制剂。化学清洗是利用清洗剂对污垢进行软化、溶解,或向污垢内部渗透、减小污垢颗粒间的结合力,更重要的是减小污垢与基体间的结合力,使污垢溶解或松散脱落而去除的过程,其目的是去除污垢、使基体重新获得良好的性能。

#### 1.1.1.2 污垢

污垢是基材表面(或内部)不受欢迎且降低了基材使用功能或改变了基材的清洁形象的沉积物。

#### 1.1.1.3 污垢的种类

(1) 根据污垢的形状分类

- ① 颗粒状污垢 如固体颗粒、微生物颗粒等。
- ② 膜状污垢 如油脂、高分子化合物或无机沉淀物在基材表面形成的膜状物质,这种膜可以是固态的,也可能是半固态的。有些污垢介于颗粒与膜状之间,还有的以悬浮状分散于溶剂之中。

(2) 根据污垢的化学组成分类 按这种分类方法可把污垢分为无机物和有机物两类。

① 无机污垢 如水垢、锈垢、泥垢,从化学成分上看,它们多属于金属或非金属氧化物及水化物或无机盐类。

a. 硫酸盐 有硫酸钙、硫酸镁 ( $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MgSO}_4$ ),由于硫酸钙不溶于普通常用的酸,所以不能用酸(如盐酸或硝酸)直接进行清洗。但是硫酸钙的溶度积大于碳酸钙的溶度积,所以有足量碳酸根存在的情况下,硫酸盐(例如硫酸钙)可以转化成相应的碳酸盐,之后再 用盐酸等进行清洗。所以含大量硫酸盐垢的锅炉需要先进行碱煮(碱液中含碳酸钠),之后再 进行酸洗。

b. 碳酸盐 以碳酸钙、碳酸镁 ( $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ ) 为主,碳酸盐垢在酸洗时比较容易被溶解而去除。

c. 磷酸盐 有磷酸钙 [ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ],这种盐垢含量不高。水热转换器 的水体中含磷酸根较少,一部分来自酸洗助剂,所以在用磷酸盐做清洗助剂 时不应过量。

d. 硅酸盐 有硅酸钙、硅酸镁 ( $\text{CaSiO}_3$ 、 $\text{MgSiO}_3$ ),硅酸盐不容易被 常用的酸( $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  等)所溶解,只有氢氟酸对硅酸盐垢具有特殊的 溶解清洗功能。

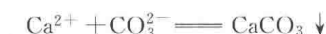
e. 氧化物 水垢中除了含有大量无机盐类以外,还有较大量的氧化物 (如  $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  等)。

f. 氢氧化物 有  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2$  等。

上述氧化物或氢氧化物都可以用酸进行溶解清除。

无机污垢产生的机理如下。

a. 无机盐污垢生成的机理 无机盐污垢都是难溶盐,当离子浓度的乘积(离子积)大于其溶度积时就会生成沉淀。以碳酸钙为例:

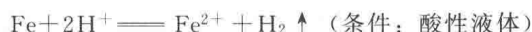


当  $c(\text{Ca}^{2+})c(\text{CO}_3^{2-}) > K_{\text{sp}}(\text{CaCO}_3) = 2.8 \times 10^{-9}$  时,就会有碳酸钙沉淀生成。因为难溶盐的溶度积都很小。所以,即使用除盐水(其中离子的浓度都很低)也难免生成这些沉淀(无机污垢)。氢氧化物沉淀的机理类似,以氢氧化镁沉淀为例:



当  $c(\text{Mg}^{2+})c^2(\text{OH}^-) > K_{\text{sp}}[\text{Mg}(\text{OH})_2] = 1.8 \times 10^{-11}$  时,就会有氢氧化镁沉淀生成。

b. 氧化物污垢生成的机理 氧化物污垢来源于金属的腐蚀,以铁基体为例,铁与酸直接作用能发生化学腐蚀。



铁在溶液中还可以发生电化学腐蚀(析氢腐蚀、吸氧腐蚀)。

析氢腐蚀（阳极） $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$

（阴极） $2\text{H}^{+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{H}_2 \uparrow$ （条件：酸性液体）

吸氧腐蚀（阳极） $\text{Fe} \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$

（阴极） $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \longrightarrow 4\text{OH}^{-}$ （条件：中性液体，氧气分压较高）

析氢腐蚀和吸氧腐蚀彼此是相互伴随发生的，条件不同时，以某一种腐蚀为主。无论是化学腐蚀还是电化学腐蚀，其腐蚀产物都是生成二价铁离子（ $\text{Fe}^{2+}$ ），设  $\text{Fe}^{2+}$  的浓度为  $10^{-4} \text{ mol/L}$  时，在中性溶液中即可生成氢氧化亚铁沉淀。

$\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^{-} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow$  或  $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{H}^{+}$

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  极为活泼，很容易被水中的氧所氧化。

$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$

$\text{Fe}(\text{OH})_3$  和  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  会生成胶体，受热会失水而转化成铁的氧化物  $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。

② 有机污垢（可统称油垢） 如动、植物油，包括动物脂肪和植物油，它们属于有机酯类，是饱和或不饱和高级脂肪酸甘油酯的混合物，它们与矿物油的区别是动植物油在碱性条件下可以皂化；矿物油，包括机器油、润滑油等，它们属于有机物的烃类，是石油分馏的产品。矿物油一般易燃，但其化学性质稳定。

一般情况下，无机污垢常采用酸或碱等化学试剂使其溶解而去除，而有机污垢则经常利用氧化分解或乳化分散的方法从基体表面去除。

### (3) 根据污垢的亲水性和亲油性分类

① 亲水性污垢 可溶于水的污垢是极性物质，如食盐等无机物或蔗糖等有机物，这些污垢通常用水基清洗剂加以去除。

② 亲油性污垢 亲油性污垢是非极性或非弱极性物质，如油脂、矿物油、树脂等有机物，它们一般不溶于水，亲油性污垢可以利用有机溶剂进行溶解，也可以用表面活性剂溶液对其进行乳化、分散加以去除。

(4) 根据与基体表面的结合力分类 污垢与基体表面结合状态是多样的。由于结合力种类的不同使基体与污垢结合牢固程度不同，因此，从基体表面去除污垢的难易程度也不同。

① 污垢与基体靠分子间力结合 单纯靠重力作用，沉降在基体表面而堆积的污垢与基体表面上的附着力（包括分子间力和氢键）很弱，较容易从基体表面上去除，如车体表面上附着的尘土、淤泥颗粒等。

② 污垢粒子靠静电引力（离子键）附着在基体表面 当污垢粒子与基体表面带有相反电荷时，污垢粒子会依靠静电引力吸附于基体表面。许多导电性能差的物质在空气中放置时往往会带上电荷，而带电的污垢粒子就会靠静电引力吸附到此基体表面。当把这类基体浸没在水中时，因为水具有很强的极性，会使污垢与基体表面之间的静电引力大为减弱，这类污垢较容易

去除。

③ 污垢与基体之间形成共价键 当污垢分子与基体表面形成共价键时，特别是污垢以薄膜状态与基体表面紧密结合时，其结合力很强。另外，过渡金属基体分子多数有未充满的 d 轨道，可以与含有孤对电子的污垢分子形成络合键而形成吸附层。此时，需要采用一些特定的方法或工艺将污垢清除。又如，金属在潮湿空气中放置时，基体与环境中物质发生化学反应而生锈。铁锈可通过用酸、碱等化学试剂或用物理的机械方法除去。

④ 渗入基体表面内部的污垢 如纤维表面的液体污垢，不仅在纤维表面扩散润湿，同时也会向纤维内部渗透扩散。这种渗入基体内部的污垢清除时会遇到更大困难。在去除此类污垢时又要尽量避免损伤基体表面。

事实上，污垢与基体之间的结合力往往是几种力的共同作用。

## 1.1.2 清洗剂的作用原理

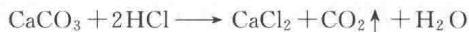
### 1.1.2.1 可溶性污垢

(1) 可溶性无机污垢 对于这类污垢可以用水进行溶解或软化、剥离，将污垢去除。例如，某些可溶于水的盐或灰尘等，可用水进行溶解或冲刷去除。

(2) 可溶性油类污垢 可用有机溶剂（醇、酮、醚或汽油、柴油等）对一些油类污垢进行溶解去除。例如一些植物油或合成有机物的污迹属于此类污垢。

### 1.1.2.2 不溶性污垢

(1) 不溶性无机污垢 对某些坚硬的无机盐固体沉淀污垢，例如锅炉内壁不溶于水的水垢（ $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{MgCO}_3$ ）等，可以用盐酸水溶液将其溶解去除（当然在除垢处理时需考虑防止锅炉基体受到腐蚀，要用缓蚀剂）。盐酸去除水垢  $\text{CaCO}_3$  的化学反应式如下所示。



(2) 不溶性有机污垢 许多工业污垢可溶解于有机溶剂，但有机溶剂（如苯或丙酮等）易于挥发并污染环境、影响操作者的健康，同时有机溶剂的成本相对较高，所以往往用水基清洗剂对一些有机污垢进行去除。水基清洗剂包含有清洗主剂和助剂等组分。肥皂或洗涤剂可以认为是常用的民用水基清洗剂，工业水基清洗剂的配方及其应用是本书的论述重点。

### 1.1.2.3 水基清洗剂清除油污的原理

用水基清洗剂清除不溶性油污的原理如下。清洗剂中的主要成分是表面活性剂，表面活性剂是能够大大降低溶液表面张力的物质，其物质结构的特点是具有双亲性（既含有极性的亲水基团，又含有亲油的非极性基团），如  $\text{C}_{17}\text{H}_5\text{COO}^- \text{Na}^+$  中的  $-\text{COO}^-$  是极性（亲水）基团， $\text{C}_{17}\text{H}_5-$  是非极性（亲油）基团。此类物质可以用“火柴”形象地描述其结构特征。—○，其直

线表示非极性基团，圆环表示极性基团。表面活性剂在水中的分散情况如图 1.1 所示。

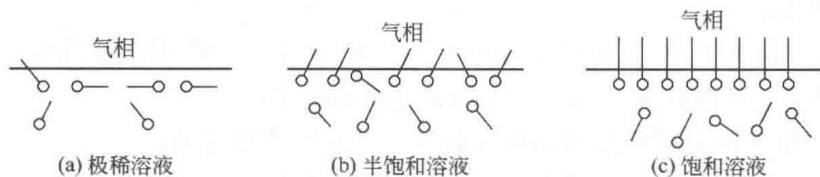


图 1.1 表面活性剂在水中的分散情况

由于其非极性基团受到溶剂（极性的水分子）的排斥，所以在其浓度很低时就会相对整齐地布满水的表面，其浓度继续增加时，才会分散在水溶液之中，形成胶束。如图 1.2 和图 1.3 所示。

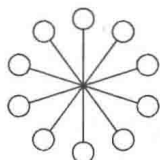


图 1.2 胶束示意图

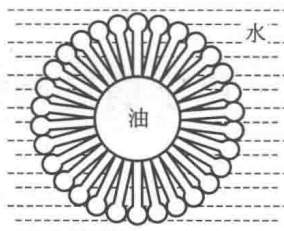


图 1.3 胶束的增溶作用示意图

排布在水溶液表面的表面活性剂分子使得水溶液的表面张力大大地降低，这对于剥离油污、使其脱离基体表面至关重要。水体中的胶束对油污还具有“增溶”作用，如图 1.3 所示。

图 1.4 解释了表面活性剂清洗固体表面油污的作用原理。水平直线之下 (A) 为固相基体，圆弧内 (B) 表示附着在基体表面的油污，圆弧上方 (C) 表示水溶液。

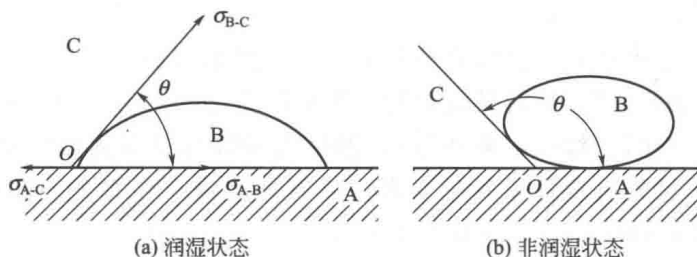


图 1.4 液体在固体表面润湿状态示意图

$\sigma_{A-B}$  表示基体 (A) 与油污 (B) 之间的界面张力， $\sigma_{A-C}$  表示基体 (A) 与水溶液 (C) 之间的界面张力， $\sigma_{B-C}$  表示油污 (B) 与水溶液 (C) 之间的界面张力

设三个界面张力平衡于  $O$  点，则有  $\sigma_{A-C} = \sigma_{A-B} + \sigma_{B-C} \cos\theta$ 。

即

$$\cos\theta = \frac{\sigma_{A-C} - \sigma_{A-B}}{\sigma_{B-C}} \quad (1.1)$$

$\theta$  角越小 [如图 1.4(a)], 则油污越趋于铺展, 油污与基体的结合面越大、结合得也越牢, 越不容易清除, 当  $\theta$  角趋于  $0^\circ$  时, 称为全铺展, 油污附着最牢;

$\theta$  角大于  $90^\circ$  [如图 1.4(b)] 时, 称为非铺展状态, 油污与基体的结合力较小,  $\theta$  角越接近  $180^\circ$ , 污垢就越容易被清除。

对于特定的基体和油污而言,  $\sigma_{A-B}$  是相对固定的,  $\sigma_{B-C} \cos\theta$  一项受影响也相对较小, 而  $\sigma_{A-C}$  受溶液 (C) 的性质变化影响较大。当向水溶液中加入表面活性剂, 可以大大降低  $\sigma_{A-C}$ 。从式(1.1) 可以看出, 降低  $\sigma_{A-C}$  有利于增大  $\theta$  角, 有利于油污的去除。清洗剂有助于去除油污就是因为其中含有表面活性剂, 可大大降低  $\sigma_{A-C}$ , 利于去污。当然化学清洗剂中除含有表面活性剂之外还含有一些助剂。

## 1.2 化学清洗剂的组成

化学清洗剂中包括溶剂、酸或碱、氧化剂或还原剂、表面活性剂、缓蚀剂和钝化剂以及助剂等。

### 1.2.1 溶剂

溶剂是指那些能把清洗剂中其他组分均匀分散的液态物质, 它包括水及非水溶剂。溶剂在污垢溶解、分散或与基体剥离过程中不生成具有确定化学组成的新物质。

(1) 水 在工业清洗中, 水既用于溶解清洗剂中其他组分, 又是许多污垢的溶剂。在清洗中, 凡是可以用水除去污垢的场合, 就不用非水溶剂及其他添加剂。

(2) 非水溶剂 (也称有机溶剂) 指液态有机化合物, 如烃、卤代烃、醇、醚、酮、酯、酚或其混合物, 主要用于溶解一些不溶于水的物质 (如油脂、蜡、树脂、橡胶、染料等)。但是大多数有机溶剂通常沸点比较低、挥发较快, 且具有毒性, 易燃易爆。最好用高沸点微毒的有机溶剂, 如 1,2,3-乙基吡咯丙醇和三乙基硅胺丁醚等。

其中一些溶剂可以与水混合互溶。例如醇类溶剂 (如乙醇、异丙醇、乙二醇等)、醚类溶剂等。这些溶剂可以与水混合制备性能独特的半水基清洗剂。

不溶于水的有机溶剂包括烃类溶剂和硅酮 (聚硅氧烷, 下同) 溶剂, 这些溶剂是 ODS (Ozone Depleting Substances, 消耗臭氧层物质) 替代溶剂中的重要品种, 在精密清洗中有着广泛的应用。另外, 有些卤代烃类溶剂可以替代 ODS 溶剂, 也可以配成半水基形式。但是, 因为它们不溶于

水，需要加入表面活性剂，或加入醇类、醚类、酮类等可溶于水的有机助溶剂。

## 1.2.2 清洗主剂酸或碱

酸洗的作用是溶解以碳酸盐和金属氧化物为主的污垢，是借助与污垢发生酸、碱反应，使污垢转变为可溶解或易于分散的状态。但是对新建锅炉和含硫酸盐垢的锅炉，首先需要碱洗。

### 1.2.2.1 碱洗（碱煮）剂

碱洗主剂的作用如下。

NaOH：提供强碱性，去油；

Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>：保持清洗剂碱性，可与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等离子生成沉淀，降低水的硬度；

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>：保持清洗剂碱性，可与 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 等离子生成沉淀，降低水的硬度，也可使不被酸溶解的硫酸盐转化为可溶解的碳酸盐。

锅炉在清洗过程中有三种情况需要碱煮。

① 新锅炉启用之前需要碱煮除油。因为在制造和安装锅炉的过程中需涂抹油性防锈剂，该油脂在锅炉运行中容易起泡沫，启用之前必须将油脂去除。

② 酸洗之前需要碱煮。因为锅炉表面的油脂妨碍清洗液与水垢接触，所以在酸洗之前需要碱煮除油和去除部分硅化物，改善水垢表面的润湿性和松动某些致密的垢层，给酸洗创造有利的条件。碱煮去除硅化物的反应式如下。



③ 水垢类型的转化。对用酸不能溶解松动的硬质水垢（如硫酸盐等），可在高温下与碱液作用，发生转化，使硬垢疏松或脱落。

碱洗目的：用高强度碱液，以软化、松动、乳化及分散沉积物。有时添加一些表面活性剂以增加碱煮效果。常用于锅炉的去除油性污垢和硅酸盐垢。碱洗是在一定温度下使碱液循环进行。时间一般为 6~12h，根据情况也可以延长。

### 1.2.2.2 无机酸清洗剂

(1) 无机酸清洗主剂的优缺点

优点：溶解力强，清洗效果好，费用低；

缺点：即使有缓蚀剂存在的情况下，对金属材料的腐蚀性仍很大，易产生氢脆和应力腐蚀，并在清洗过程中产生大量酸雾造成环境污染。

(2) 无机酸清洗主剂的去污原理

① 去除铁锈垢原理







## ② 去除碳酸盐垢原理



## ③ 去硅垢原理



## (3) 几种常用的无机酸洗主剂

① 盐酸 (HCl) 盐酸的优点是能快速溶解铁氧化物、碳酸盐。其效果优于其他无机酸。清洗工艺简单,有剥离作用,溶垢能力强,工效高,效果好,稀溶液毒性小,酸洗后表面状态良好,渗氢量少,金属的氢脆敏感性小,而且货源充足。此外,其反应产物氯化铁或氯化钙的溶解度大,无酸洗残渣,所以至今仍是应用最广的酸洗主剂。可用于碳钢、黄铜、紫铜和其他铜合金材料的设备清洗。费用低,广泛用于清洗锅炉、各种反应设备及换热器等。

缺点:盐酸对金属的腐蚀性很强,超过 40℃ 时易挥发、产生酸雾。为了防止腐蚀,必须加入一定量的缓蚀剂和去雾剂。另一方面,不适合用于清洗硅酸盐垢和直接用于清洗硫酸盐垢。

清洗剂中 HCl 一般为 5%~15%,必须与缓蚀剂配合使用,清洗温度一般低于 60℃。

盐酸酸洗缓蚀剂应用性能评价指标及浸泡腐蚀试验方法见 DL/T 523—1993。试验条件:5% HCl+0.3%缓蚀剂,在 (55±2)℃ 温度条件下浸泡 6h,钢材为 20 号钢,酸液体积与试样表面积之比为 15:1 (mL:cm<sup>2</sup>)。静态腐蚀速率 < 0.6g/(m<sup>2</sup>·h) 为优等,0.6~1.0g/(m<sup>2</sup>·h) 为良,1.1~2.5g/(m<sup>2</sup>·h) 为合格, > 2.5g/(m<sup>2</sup>·h) 为不合格,缓蚀效率 > 96% 为合格。

盐酸酸洗缓蚀剂的生产厂家和注册品牌很多,如 Lan-826 多用酸洗缓蚀剂、TH-10 盐酸缓蚀剂、TPRI-1 型盐酸缓蚀剂、JA-1A 锅炉盐酸酸洗缓蚀剂等。

② 氢氟酸 (HF) 氢氟酸是一种弱无机酸。氢氟酸的优点是常温下清洗硅垢和铁垢有特效,溶解氧化物的速度快,效率高;可用来清洗奥氏体钢等多种钢材基质的部件,这一点优于盐酸;使用含量较低,通常为 1%~2%;使用温度低,废液处理简单,但不可忽视。

缺点:在空气中挥发,其蒸气具有强烈的腐蚀性及毒性,价格高,对含铬合金钢的腐蚀速度较高。对缓蚀剂不仅要求缓蚀性能高,还需要较强的酸雾抑制能力。氢氟酸可以与缓蚀剂 IMC-5 配合使用。

氢氟酸不单独使用,一般与盐酸、硝酸或氟化物等复合使用。

## ③ 其他无机酸