

油 / 田 / 化 / 学 / 丛 / 书



油田化学品的 制备及现场应用

李建波 等编著



化学工业出版社

油/田/化/学/丛/书



油田化学品的 制备及现场应用

李建波 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书介绍了油田化学品的概念及与相关学科之间的关系, 油气田钻井、固井、酸化、压裂、堵水调剖、化学驱油、防垢除垢、腐蚀与防护、集输与水处理方面化学品的制备及现场应用方法。内容丰富, 资料详实。可供从事油田化学品研制的研究人员、高校师生及现场应用的施工人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

油田化学品的制备及现场应用/李建波等编
著. —北京: 化学工业出版社, 2012. 5
(油田化学丛书)
ISBN 978-7-122-13526-1

I. 油… II. 李… III. 石油化学品-制备
IV. TE626

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 026025 号

责任编辑: 曾照华
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 丁建华
装帧设计: 刘丽华

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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 20 字数 425 千字 2012 年 7 月北京第 1 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: 78.00 元

版权所有 违者必究

前言

在油气井钻探、开采和集输过程中，常常会遇到各种问题，严重影响油气田开发所追求的高产、稳产。其中有很大一部分问题，是由于使用的油田化学品的性能不好或使用不当所造成的。因此，研究油田化学品的制备及现场应用具有十分重要的意义。

本书的编写是为了更好地解决在油气田钻探、开采和集输过程中遇到各种有关油田化学品的技术难题。本书首先介绍了油田化学品的概念，与相关学科之间的关系，油田化学品的主要制备方法；接着分别介绍了油气田钻井、固井、酸化、压裂、堵水调剖、化学驱油、防垢除垢、腐蚀与保护、集输和水处理方面化学品的制备及现场应用方法。

本书第1、2、5、6、7、9、11章由李建波编写，第3、4、6、7、8章由黄志宇编写，第3、6、7、12章由张太亮编写，第4、8、10章由何毅编写，李建波对全书进行了整改。研究生杨海燕、税敏、李永会、钟小芳、范雨和唐宇等为本书进行了部分资料收集和打字工作。为此表示诚挚的感谢！

本书在编写过程中，得到西南石油大学化学化工学院的关心和大力支持，为此深表谢意！

本书可供从事油田化学品研制的高校师生、研究人员及现场应用的施工人员参考使用。

在编写《油田化学品的制备及现场应用》过程中，涉及的学科很多、知识面很广，不当之处在所难免。敬请各位专家和各位读者批评指正。

编著者

2012年2月于西南石油大学

丛书前言

油田化学是近几十年发展起来的一个交叉学科,针对油气田开发、生产过程中的化学问题,涉及石油钻井、固井、完井、油气增产的酸化、压裂、提高采收率等各方面,是化学和石油工程结合的特殊学科。石油开发中的泥浆工程师、固井工程师、采油工程师、井下作业工程师都要具备油田化学知识。油田化学已经是油气田开发、生产中必需的知识,也是保证油气正常生产的技术。

随着石油化工的发展,一些高性能,专用性的高分子材料、表面活性剂和无机材料相继问世,高分子工业、表面活性剂工业和无机材料有了突飞猛进的发展。由于这些材料具有多种应用功能,在原油勘探开发(钻井、固井)、油井增产、提高采收率、稠油开采输送、石油工程材料保护、油田环境治理中都是必不可少的化学品。目前油田化学方面的丛书很少,为此我们编写了《油田化学丛书》。

本套丛书在分子、表面活性剂、石油地质及开发知识的基础上,介绍了高分子材料、表面活性剂和无机材料在石油工程各环节中应用研究的最新进展,由西南石油大学油田化学教研室组织编写。作者根据多年来在分子材料、表面活性剂和无机材料及其在油气田开发中的应用领域不断的探讨,将相关的研究工作和心得融合在书中。本丛书包括《油田用聚电解质的合成及应用》、《油田化学品的制备及现场应用》、《表面活性剂及其在石油工程中的应用》和《特殊油气井化学工作液》四册。分别介绍了钻井、固井、完井、酸化、压裂、提高采收率等方面用离子型聚合物的合成、应用、特性、作用机理;油田化学品的主要制备方法,油气田钻井、固井、酸化、压裂、堵水调剖、化学驱油、防垢除垢、腐蚀与保护、集输和水处理方面化学品的制备及现场应用方法;表面活性剂在石油工程各环节中应用研究的最新进展;改善工作液材料、处理剂及工作液配方在固井、酸化、压裂、三次采油等方面的应用。

本套丛书可作为油气田应用化学、石油工程、油气田材料工程学等学科的本科高年级学生、研究生课外阅读书籍,也可作为相关油田化学工程技术人员和油田化学助剂生产单位技术人员参考用书。

西南石油大学油田化学教研室

2012年2月

目录

1 绪论

1.1 油田化学和油田化学品的概念	1
1.2 油田化学的分类	1
1.3 油田化学品与其他学科的关系	1
1.3.1 油田化学品与无机化学的关系	1
1.3.2 油田化学品与有机化学的关系	2
1.3.3 油田化学品与物理化学的关系	2
1.3.4 油田化学品与分析化学和仪器分析的关系	3
1.3.5 油田化学品与表面活性剂化学的关系	3
1.3.6 油田化学品与胶体化学的关系	3
1.3.7 油田化学品与高分子化学与高分子物理的关系	3
1.4 油田化学品研究的方法	3
1.4.1 明确各大油田目前存在的技术难题	3
1.4.2 制备新的油田化学品	4
参考文献	4

2 油田化学品制备方法

2.1 有机合成	5
2.2 高分子合成	5
2.2.1 加成聚合	5
2.2.2 缩合聚合	10
2.2.3 高分子材料的合成方法	12

参考文献	16
------	----

3 钻井用化学品

3.1 钻井用化学品概述	17
3.1.1 乙烯基单体多元共聚物	17
3.1.2 阴离子聚合物系列产品	18
3.1.3 两性离子聚合物系列产品	18
3.1.4 阳离子聚合物产品	18
3.1.5 复合金属两性离子聚合物产品	18
3.2 钻井用化学品的发展趋势	18
3.2.1 钻井液处理剂	19
3.2.2 油井水泥外加剂	19
3.3 典型钻井用化学品的生产	19
3.3.1 酚醛树脂类钻井用化学品生产	19
3.3.2 淀粉类钻井用化学品生产	23
3.3.3 聚合物类钻井液用化学品	28
3.3.4 接枝共聚物类	33
3.3.5 其他钻井用化学品	36
参考文献	39

4 固井用化学品

4.1 油井水泥浆外加剂概述	40
4.2 油井水泥降失水剂	40
4.2.1 降失水剂作用机理	41
4.2.2 常用降失水剂及特性	41
4.3 油井水泥分散剂	41
4.3.1 分散剂作用机理	41
4.3.2 分散剂的类型	42
4.4 油井水泥促凝剂	42
4.4.1 无机盐类促凝剂	42
4.4.2 有机化合物促凝剂	42
4.5 油井水泥缓凝剂	42

4.5.1	主要作用机理	42
4.5.2	常用缓凝剂	43
4.6	油井水泥浆防气窜剂	43
4.6.1	防止或减少失重的防气窜剂	43
4.6.2	增加气窜阻力的防气窜剂	43
4.7	增韧剂(增塑剂)	44
4.7.1	纤维类	44
4.7.2	胶乳类	44
4.8	减轻剂	44
4.9	加重剂	45
4.10	热稳定剂	45
	参考文献	45

5 酸化用化学品

5.1	酸化处理工艺及其增产原理	46
5.1.1	酸处理工艺分类	46
5.1.2	酸化增产原理	47
5.2	酸液及油井酸化	48
5.2.1	酸液类型和用途	50
5.2.2	酸处理井层的选择	55
5.2.3	碳酸盐岩的酸化	55
5.2.4	砂岩地层的酸化	58
5.2.5	前置液与后置液	60
5.2.6	酸液返排	61
5.2.7	酸化效果评价	62
5.3	酸化试验	64
5.3.1	酸液性能评价试验	64
5.3.2	酸液与储层的相容性评定试验	65
5.4	酸液添加剂	65
5.4.1	缓蚀剂	66
5.4.2	铁稳定剂	74
5.4.3	防乳-破乳剂	78
5.4.4	互溶剂	79

5.4.5	降滤失剂	80
5.4.6	黏土防膨剂	81
5.4.7	醇类	84
5.4.8	其他添加剂	84
5.4.9	添加剂的配伍性	85
5.5	缓速酸酸化技术	85
5.5.1	缓速酸酸化工艺步骤	86
5.5.2	潜在酸地层深部酸化	86
5.5.3	泡沫酸酸化	91
5.5.4	稠化酸(胶凝酸)酸化	94
5.5.5	降滤失酸	96
5.5.6	乳化酸酸化	97
5.5.7	化学缓速酸	99
5.5.8	胶束酸	99
5.6	暂堵(分层)酸化技术	99
5.6.1	暂堵(分层)酸化原理	99
5.6.2	暂堵剂	100
5.6.3	选井条件及施工要求	100
5.6.4	室内及现场研究结果	101
参考文献		101

6 压裂用化学品

6.1	油层造缝机理	103
6.1.1	裂缝起裂和延伸	103
6.1.2	裂缝的形态及方位	104
6.1.3	破裂压力梯度	104
6.2	压裂液的组成	105
6.2.1	前置液	105
6.2.2	携砂液	105
6.2.3	顶替液	105
6.3	压裂对压裂液的要求	105
6.4	水基压裂液	107
6.4.1	天然植物胶水基压裂液	107
6.4.2	纤维素衍生物压裂液	113
6.4.3	合成聚合物压裂液	114

6.4.4	水基压裂液添加剂	116
6.5	油基压裂液	127
6.5.1	稠化油压裂液	127
6.5.2	油基冻胶压裂液	128
6.5.3	油基压裂液基本特点	129
6.6	泡沫压裂液	130
6.6.1	泡沫压裂液的组成	130
6.6.2	泡沫压裂液的性能及表征	131
6.6.3	影响泡沫压裂液性能的因素	134
6.7	清洁压裂液	135
6.7.1	黏弹性表面活性剂压裂液的特点	136
6.7.2	清洁压裂液的流变性能和应用性能	137
6.7.3	清洁压裂液的现场施工工艺及应用情况	138
6.8	压裂液性能评价	138
6.8.1	裂缝几何尺寸与压裂液黏度的关系	138
6.8.2	压裂液滤失性	139
6.9	压裂液流变学	140
6.9.1	流变学基础	140
6.9.2	幂律模型	141
6.9.3	压裂液流变性	142
6.10	压裂工艺技术	146
6.10.1	选井选层	146
6.10.2	压裂施工工艺	146
6.10.3	高砂比压裂技术	147
6.10.4	人工隔层控制垂向裂缝高度技术	148
参考文献		149

7 堵水与调剖用化学品

7.1	注水井化学调剖技术	150
7.1.1	调剖剂	150
7.1.2	用于蒸汽采油的高温堵剂及高温注蒸汽调剖剂	159
7.2	堵水剂	163
7.2.1	堵水剂的分类	163
7.2.2	油田非选择性化学堵水剂	166

7.2.3 油井选择性堵水剂	175
7.3 一些调剂剂、堵水剂的制备及性能	185
7.4 油田常用堵水调剂剂	190
参考文献	195

8 化学驱用油田化学品

8.1 提高采收率方法概述	197
8.1.1 概念	197
8.1.2 EOR 的分类	198
8.1.3 中国 EOR 技术发展现状	198
8.2 采收率与影响采收率的因素	199
8.2.1 油气藏的内在因素	199
8.2.2 油气藏的外在因素	199
8.3 聚合物驱	199
8.3.1 聚合物驱机理	199
8.3.2 聚合物驱用聚合物	200
8.3.3 目前我国聚合物驱油现状	200
8.4 表面活性剂驱	201
8.4.1 表面活性剂驱提高采收率的机理	201
8.4.2 驱油用表面活性剂研究方向及展望	201
8.5 碱驱	203
8.5.1 碱驱提高采收率的机理	203
8.5.2 影响碱水驱油的因素	203
8.5.3 碱驱存在的问题	203
8.5.4 碱水驱油的注入方式	203
8.6 复合驱	204
8.6.1 二元复合驱	204
8.6.2 三元复合驱 (ASP)	204
8.6.3 泡沫复合驱油技术	205
8.7 化学驱用油剂新进展	205
8.8 国内外化学驱油技术发展趋势	206
8.8.1 国外化学驱油技术发展趋势	206
8.8.2 国内化学驱油技术发展趋势	207

8.9 化学驱油在油气田中的应用	209
参考文献	211

9 防垢和除垢用化学品

9.1 结垢机理及影响因素	212
9.1.1 碳酸钙	213
9.1.2 碳酸镁	216
9.1.3 硫酸钙	217
9.1.4 硫酸钡	218
9.1.5 铁沉积物	218
9.1.6 硅沉积物	219
9.2 防垢剂防垢机理	219
9.3 油田防垢技术的应用	221
9.3.1 控制 pH 值	221
9.3.2 去除溶解气体	221
9.3.3 防止不相容的水混合	221
9.3.4 采用防垢剂进行防垢	222
9.4 油田常用的防垢剂及作用机理	222
9.4.1 油田常用的防垢剂	222
9.4.2 化学防垢机理	226
9.5 防垢剂的制备及性能	227
9.5.1 有机多元磷酸类阻垢剂	227
9.5.2 聚合物阻垢剂	231
9.6 油田化学除垢	234
9.6.1 水溶性水垢	234
9.6.2 酸溶性水垢	234
9.6.3 不溶于酸的水垢	235
9.6.4 新型除垢剂	235
参考文献	236

10 腐蚀和防护用化学品

10.1 金属腐蚀的定义与分类	237
------------------------------	-----

10.1.1	金属腐蚀的定义	237
10.1.2	金属腐蚀的分类	237
10.2	金属在各种介质中的腐蚀	238
10.2.1	金属在海水中的腐蚀	238
10.2.2	硫化氢的腐蚀	239
10.2.3	二氧化碳的腐蚀	240
10.2.4	细菌的腐蚀	242
10.2.5	H ₂ S、CO ₂ 同时存在时的腐蚀情况	242
10.3	腐蚀的防护	243
10.3.1	金属防腐蚀的方法	243
10.3.2	油气田油井管的防腐	244
10.4	酸性油气田缓蚀剂	245
10.4.1	咪唑啉类缓蚀剂	245
10.4.2	季铵盐类缓蚀剂	246
10.4.3	杂环类缓蚀剂	247
10.4.4	有机胺类缓蚀剂	248
10.4.5	酰胺类缓蚀剂	248
10.4.6	杀菌剂	248
10.5	缓蚀剂在油田中的应用	249
10.5.1	早期油田选用的缓蚀剂	249
10.5.2	油田研制开发的常用缓蚀剂	249
	参考文献	250

11 集输用化学品

11.1	原油的降凝输送	253
11.1.1	原油按凝点的分类	253
11.1.2	含蜡原油的黏温曲线	254
11.1.3	原油的降凝方法	255
11.1.4	原油降凝剂	259
11.2	原油的减阻输送	264
11.2.1	流动的类型及其流动阻力	264
11.2.2	原油减阻剂	265
11.2.3	原油减阻剂作用原理	267
11.2.4	原油减阻剂的评价方法	268

11.3 防蜡剂的制备	270
11.3.1 常用的水溶性表面活性剂的制备	270
11.3.2 常用的聚合物型防蜡剂的制备	270
11.4 降凝剂的制备	272
11.4.1 一些重要的原油降凝剂的制备	272
11.4.2 原油降凝剂制备实例	274
参考文献	279

12 水处理用化学品

12.1 水污染状况	282
12.2 油田水处理用化学品	284
12.2.1 非离子型合成有机高分子絮凝剂	284
12.2.2 阴离子型合成有机高分子絮凝剂	287
12.2.3 阳离子型合成有机高分子絮凝剂	291
12.2.4 两性型合成有机高分子絮凝剂	294
12.2.5 改性纤维素类絮凝剂	297
参考文献	302

绪 论

1.1 油田化学和油田化学品的概念

油田化学是研究油田钻井、采油和原油集输过程中的化学问题的科学。

油田化学品是钻井、采油和原油集输过程中所使用的特殊的化学药品。新的油田化学品的制备及应用涉及多学科知识和技术，需要研究人员和现场施工人员协同攻关。

1.2 油田化学的分类

油田化学是由钻井化学、采油化学和原油集输化学三部分组成。这些组成部分构成了油田化学的研究对象。

钻井化学主要研究钻井液和水泥浆的性能及其控制与调整。

采油化学主要研究油层化学改造和油水井化学改造。

原油集输化学主要研究埋地管道的腐蚀与防腐、乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡、原油的降凝输送、天然气处理与油田污水处理等问题。

1.3 油田化学品与其他学科的关系

1.3.1 油田化学品与无机化学的关系

许多无机化合物就是油田化学品，例如：

- ① 盐酸、氢氟酸、氟硼酸、磷酸、硫酸和土酸等酸可以作为油田酸化的基础酸。
- ② 碳酸钠可以作为将钙土转化为钠土所用的碱。
- ③ 硼酸、硼砂、三氯化铬、硫酸铬钾、四氯化钛、二氯氧锆、焦亚硫酸钠、铬酸钠、铬酸钾等可以作为稠化剂的交联剂。
- ④ 氯化钠、氯化钾、氯化钙、水玻璃、硫酸钙和磷酸铝等可以作为水泥浆促凝剂。
- ⑤ 硼酸、硼砂等可以作为水泥浆缓凝剂。
- ⑥ 硫酸钡、钛铁矿和氧化铁等可以作为加重剂。
- ⑦ 氧化镁、氢氧化钠、碳酸钠、碳酸钾、碳酸氢钠和磷酸二氢钠等可以作为pH 值调节剂。
- ⑧ 氯化钠、氯化钾、氯化铵、氯化钙、氯化镁和二氯氧锆等可以作为黏土稳定剂。
- ⑨ 硫酸亚铁、亚硫酸氢钠、水玻璃、氧化钙、重铬酸钠、重铬酸钾、四氯化钛和二氯氧锆等可以作为堵水剂成分。
- ⑩ 无机化合物在污水处理中的应用：
 - a. 无机低分子絮凝剂有硫酸铝、三氯化铝、硫酸铝铵、明矾（硫酸铝钾）、硫酸亚铁、硫酸铁、氯化铁、氯化锌、硫酸锌、氧化镁、碳酸镁等；
 - b. 无机高分子絮凝剂有聚合氯化铝、聚硫氯化铝、聚合硫酸铝、聚合磷酸铝、聚合硫酸铁、聚合氯化铁、聚合磷酸铁、活化硅酸、聚合氯化铝铁、聚合硅酸铝、聚合硅酸铝铁、聚合硫酸铝铁、聚合硅酸铁、聚合磷酸铝铁等。

1.3.2 油田化学品与有机化学的关系

有机化合物作为油田化学品在油田得到非常广泛的应用。

- ① 钻井用有机化合物包括杀菌剂、缓蚀剂、消泡剂、乳化剂、起泡剂、表面活性剂、页岩抑制剂和降黏剂等；
- ② 固井用有机化合物包括缓凝剂和消泡剂等；
- ③ 酸化用有机化合物包括低分子有机酸、潜在酸、缓蚀剂、助排剂、乳化剂、防乳化剂、起泡剂、铁离子稳定剂和防淤渣剂等；
- ④ 压裂用有机化合物包括缓蚀剂、助排剂、交联剂、黏土稳定剂、防乳化剂、起泡剂、暂堵剂和杀菌剂等；
- ⑤ 提高采收率用有机化合物包括起泡剂和表面活性剂等；
- ⑥ 油气集输用有机化合物包括乳化剂、水合物抑制剂、防蜡剂、降凝剂和起泡剂等；
- ⑦ 处理用有机化合物包括杀菌剂、缓蚀剂、黏土稳定剂、絮凝剂、防垢剂和除垢剂等。

1.3.3 油田化学品与物理化学的关系

- ① 研究天然气、二氧化碳、硫化氢等气体存在的相平衡，二氧化碳、硫化氢等气体存在的化学平衡；
- ② 用电解与极化作用研究金属的化学腐蚀、防腐与金属的钝化；

③ 研究油田化学品在地层岩石及金属表面上的吸附量。

1.3.4 油田化学品与分析化学和仪器分析的关系

① 分析化学和仪器分析主要用于油田化学品分子结构的确定。

② 通过络合物稳定常数大小的测定，可以初步判断防垢剂的防垢效果。为制备新的防垢剂提供一种新的判断手段。

1.3.5 油田化学品与表面活性剂化学的关系

① 表面活性剂在钻井液中可用作降黏剂、降滤失剂、润滑剂、乳化剂、消泡剂、发泡剂、杀菌剂、防腐剂、堵漏剂。

② 表面活性剂在固井液中可用作分散剂、降失水剂、缓凝剂、密封剂。

③ 表面活性剂在采油中可用作驱油剂、清防蜡剂、乳化降黏剂、润湿降阻剂、油水井改造剂。

④ 表面活性剂在原油中可用作破乳剂。

⑤ 表面活性剂在原油集输中可用作降凝剂。

1.3.6 油田化学品与胶体化学的关系

① 胶体化学研究对象颗粒分散体系，钻井液是胶体化学重要的研究内容之一。

② 钻井液本身是复杂的胶体体系。以黏土、水为基本材料的水基钻井液，是固体分散在液体中的多相多级分散体系，其中粗颗粒在悬浮体范围，细颗粒在胶体范围，即钻井液是溶胶和悬浮液的混合物。

③ 钻井液的性能几乎与各种胶体性质都有密切关系。如钻井液胶体的稳定性与破坏，处理剂的吸附、润湿、流变性，电解质的污染及其处理等，都遵循胶体化学的基本规律。

1.3.7 油田化学品与高分子化学与高分子物理的关系

① 高分子化学用于制备高分子油田化学品；

② 高分子物理主要用于测定制备的油田化学品高分子的分子量、高分子油田化学品的聚集态结构及溶液性质等。

1.4 油田化学品研究的方法

1.4.1 明确各大油田目前存在的技术难题

明确各大油田目前存在的技术难题是解决问题的基础。目前某些油田存在的技术难题主要有：

① 热采 1t 稠油所用蒸汽烧掉接近 1/3t 原油，开采成本高。