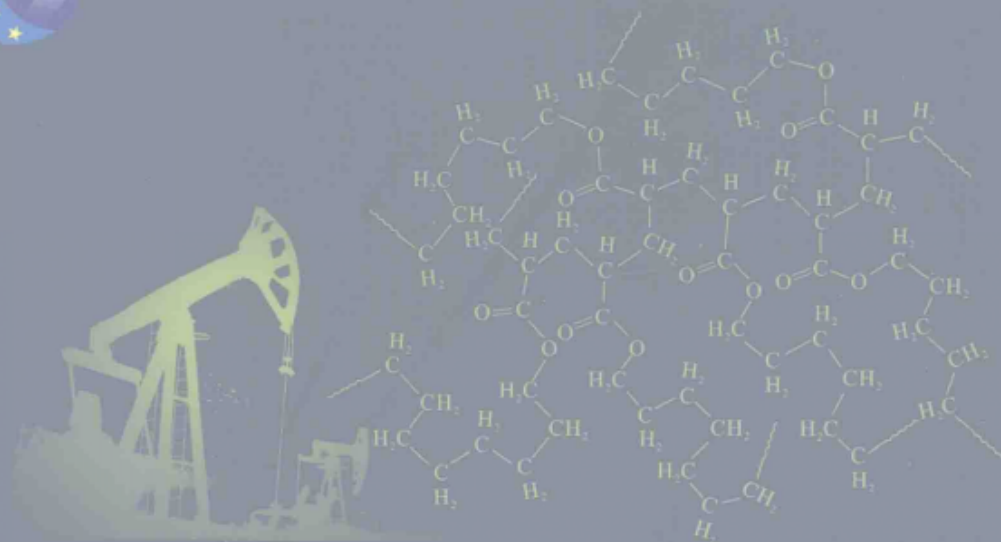




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



油田化学

(第2版)

赵福麟 主编

中国石油大学出版社

责任编辑：高颖

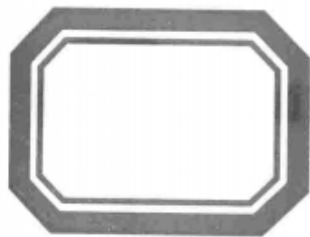
封面设计：几天设计

ISBN 978-7-5636-3214-5



9 787563 632145 >

定价 39.00元



高等教育“十一五”国家级规划教材

油田化学

(第2版)

赵福麟 主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

油田化学/赵福麟主编. —2版. —东营: 中国
石油大学出版社, 2010. 8
ISBN 978-7-5636-3214-5

I. ①油… II. ①赵… III. ①石油化工 IV.
①TE65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 152046 号

书 名: 油田化学
作 者: 赵福麟

责任编辑: 高 颖 (电话 0532-86981531)
封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>
电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com
印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司
发 行 者: 中国石油大学出版社 (0532-86981532, 0546-8392563)
开 本: 180×235 印张: 26 字数: 520 千字
版 次: 2010 年 9 月第 2 版第 1 次印刷
定 价: 39.00 元

内 容 提 要

本教材按钻井、采油和原油集输的生产过程分3篇,共15章。第1篇为钻井化学,分3章,主要介绍钻井液和水泥浆的性能及其控制与调整;第2篇为采油化学,分7章,主要介绍提高原油采收率的各种化学方法和调剖、堵水、稠油降粘、酸液性能调整、压裂液性能调整、防砂、防蜡和清蜡等的化学方法;第3篇为集输化学,分5章,主要介绍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、原油的降凝输送与减阻输送、天然气处理与油田污水处理等的化学方法。在本教材的各章中,均着重说明生产过程存在问题的化学本质和解决这些问题的化学用剂及其作用机理。

本教材各章后均附有参考文献,供读者深入钻研参考。在教材后面还附有汉英索引和英汉索引,便于读者查阅。教材所涉及的名词术语均按全国自然科学名词审定委员会和石油工业标准化技术委员会有关文件的规定使用。

本教材可作为石油院校有关专业的教学用书,也可作为从事石油工程专业、应用化学专业、精细化工专业研究人员和工程人员,以及油田化学剂生产厂技术人员的参考用书。

前 言

油田化学是研究油田钻井、采油和原油集输过程中化学问题的科学^①。

油田化学是石油科学中最年轻的科学。

油田化学由钻井化学、采油化学和集输化学 3 部分组成。这些组成部分构成了油田化学的研究对象。

钻井、采油和原油集输虽然是不同的过程,但它们是互相衔接的,因此油田化学的 3 个组成部分虽有各自的发展方向,但它们是相互关联的。

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。

采油化学主要研究提高原油采收率的各种化学方法和调剖、堵水、稠油降粘、酸液性能调整、压裂液性能调整、油水井防砂、油井防蜡、清蜡等化学方法。

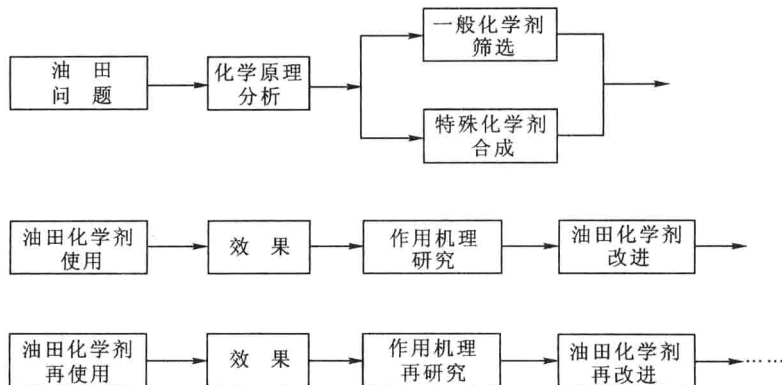
集输化学主要研究埋地管道的腐蚀与防腐、乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡、原油的降凝输送与减阻输送、天然气处理与油田污水处理等问题。

油田化学 3 个组成部分在解决各自的问题时,所应用的油田化学剂有许多是相同的。表面活性剂和高分子是它们最常用的两类化学剂。

油田化学的研究内容主要包括 3 个方面:

1. 钻井、采油和原油集输过程中存在问题的化学本质。
2. 解决存在问题所使用的化学剂。
3. 各种化学剂的作用机理和协同效应。

油田化学是按下列顺序进行研究的:



^① 见中华人民共和国石油天然气行业标准《油田化学常用术语》(SY 5510—92)。



从上面顺序可以看到,油田化学的研究按实践—理论—实践的规律展开,循环向上,使油田化学不断发展。

油田化学与其他学科有着紧密的联系:

1. 油田化学中的一个重要任务是提高原油采收率。要提高原油采收率就必须认识油层。油田地质学是地质学的组成部分,它主要研究油层的物质组成、构造和油气水的分布,所以是认识油层的重要手段,因此油田化学与油田地质学有着密切的联系。

2. 油田化学是化学与钻井工程、油田开采工程(包括油藏工程和采油工程)、集输工程等工程学之间的边缘科学。油田化学所要解决的问题都是这些工程学提出的问题,因此油田化学与这些工程学是紧密相关的。

3. 由于化学也是认识油层和解决油田存在问题的重要手段,因此各门基础化学(无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、表面化学、胶体化学等)自然成为油田化学的基础。

4. 油田化学通过油田化学剂解决油田存在的问题。油田化学剂通常是溶于各种溶剂(流体)中使用的。油田化学剂的溶解,其后在界面上的吸附及在各相中的分配均对使用体系的性质有重要的影响。这些影响可用流体力学和渗流力学的方法进行研究,因此油田化学与流体力学和渗流力学同样有着紧密的联系。

考虑到油田化学知识对培养石油工程专业学生的重要性,设立了油田化学课程,并为此课程编写了本教材。

自2000年7月第1版出版以来,本教材已为大部分石油院校相关专业采用。本教材在拓宽、加深学生的化学基础和培养学生用化学方法解决油田实际问题的能力上起了重要的作用,达到了预期的教学效果。

由于近年来有关学科的发展对油田化学提出了更高的要求,油田化学科学与技术发展所产生的成果也应及时地反映到教材中来,因此本教材被批准为“十一五”国家级教材建设规划中的修订选题,并在2007—2009年对本教材的第1版进行了修订,成为目前的第2版。

这次教材的修订仍按第1版编写时所遵循的整体性、基础性、前瞻性、结合性和规范性原则进行。在修订过程中,调整了教材内容的一些结构,补充了油田化学剂起作用的一些新机理以及近年来出现的一些新剂型,审核了第1版教材中涉及的油田化学基本概念、基本公式和基本规律,使教材质量在原有的基础上得到提高。

修订后的第2版教材也按钻井、采油和原油集输的生产过程分3篇,但为了系统清晰,将第1版教材的9章改为15章。第1篇为钻井化学,分3章,由邱正松、吕开河、樊泽霞负责修订;第2篇为采油化学,分7章,由赵福麟、王业飞、戴彩丽负责修订;第3篇为集输化学,分5章,由赵修太、李传宪、刘德新负责修订。最后由赵福麟

负责统稿。

希望读者对本教材第2版中存在的问题,像对第1版那样提出宝贵意见,以便再版时改正。

编 者

2010年6月

目 录

第 1 篇 钻井化学

第 1 章 粘 ^① 土矿物	2
第 1 节 粘土矿物的基本构造	2
第 2 节 粘土矿物	4
第 3 节 粘土矿物的性质	10
参考文献	15
第 2 章 钻井液化学	16
第 1 节 钻井液的功能与组成	16
第 2 节 钻井液的密度及其调整	18
第 3 节 钻井液的酸碱性及其控制	20
第 4 节 钻井液的滤失性及其控制	23
第 5 节 钻井液的流变性及其调整	31
第 6 节 钻井液中的固相及其含量的控制	44
第 7 节 钻井液的润滑性及其改善	47
第 8 节 井壁稳定性及其控制	49
第 9 节 卡钻与解卡	53
第 10 节 钻井液的漏失与地层的堵漏	55
第 11 节 钻井液体系	57
参考文献	64
第 3 章 水泥浆化学	69
第 1 节 水泥浆的功能与组成	69
第 2 节 水泥浆的密度及其调整	72
第 3 节 水泥浆的稠化及稠化时间的调整	74
第 4 节 水泥浆的流变性及其调整	80

① “粘”同“黏”，见 2009 年 9 月商务印书馆出版的《辞源》修订本（建国 60 周年纪念版）第 2604 页。这里采用“粘”的形式，全书同。

第5节 水泥浆的滤失性及其控制	81
第6节 气窜及其控制	84
第7节 水泥浆的漏失及其处理	86
第8节 水泥浆体系	86
参考文献	91

第2篇 采油化学

第4章 化学驱与混相驱	95
第1节 聚合物驱	96
第2节 表面活性剂驱	101
第3节 碱驱	111
第4节 复合驱	116
第5节 混相驱	120
参考文献	125
第5章 注水井调剖与油井堵水	129
第1节 注水井调剖	129
第2节 油井堵水	143
参考文献	159
第6章 稠油降粘	163
第1节 稠油	163
第2节 稠油的升温降粘法	166
第3节 稠油的稀释降粘法	167
第4节 稠油的乳化降粘法	167
第5节 稠油的氧化降粘法	169
第6节 稠油的催化水热裂解降粘法	170
参考文献	173
第7章 酸化用酸及酸化用添加剂	175
第1节 酸化用酸	175
第2节 酸化用添加剂	182
参考文献	193
第8章 压裂液及压裂用添加剂	197
第1节 压裂液	197
第2节 压裂用添加剂	207

参考文献	212
第 9 章 油水井防砂	216
第 1 节 化学桥接防砂法	216
第 2 节 化学胶结防砂法	217
第 3 节 人工井壁防砂法	221
第 4 节 滤砂管防砂法	221
第 5 节 绕丝筛管砾石充填防砂法	222
参考文献	224
第 10 章 油井的防蜡与清蜡	226
第 1 节 油井的防蜡	226
第 2 节 油井的清蜡	233
参考文献	237

第 3 篇 集输化学

第 11 章 埋地管道的腐蚀与防腐	240
第 1 节 埋地管道的腐蚀	240
第 2 节 埋地管道的防腐	244
参考文献	257
第 12 章 乳化原油的破乳与起泡沫原油的消泡	259
第 1 节 乳化原油的破乳	259
第 2 节 起泡沫原油的消泡	268
参考文献	273
第 13 章 原油的降凝输送与减阻输送	275
第 1 节 原油的降凝输送	275
第 2 节 原油的减阻输送	284
参考文献	289
第 14 章 天然气处理	293
第 1 节 天然气脱水	293
第 2 节 天然气脱酸性气体	297
第 3 节 天然气水合物生成的抑制	300
参考文献	306
第 15 章 油田污水处理	308
第 1 节 污水的除油	308



第2节 污水的除氧.....	310
第3节 污水中固体悬浮物的絮凝.....	311
第4节 污水的防垢.....	312
第5节 污水的缓蚀.....	317
第6节 污水的杀菌.....	320
参考文献.....	324
附表.....	327
附表1 常用的表面活性剂	327
附表2 常用的高分子	350
索引.....	376
汉英索引.....	376
英汉索引.....	390

第 1 篇 钻井化学

钻井化学是油田化学的一部分。

钻井化学是钻井工程学与化学之间的边缘科学。

钻井化学研究的是如何用化学方法解决钻井和固井过程中遇到的问题。

由于钻井和固井过程中遇到的问题主要来自钻井液和水泥浆,因此钻井化学可分为钻井液化学和水泥浆化学。

钻井液化学是通过研究钻井液的组成、性能及其控制与调整,达到优质、快速、安全、经济地钻井的目的。在钻井液性能的控制与调整中,化学法是重要的方法。为了掌握这一方法,必须了解各种钻井液处理剂的类型、结构、性能及其作用机理,这是钻井液化学的主要组成部分。

水泥浆化学是通过研究水泥浆的组成、性能及其控制与调整,达到封隔漏失层、复杂地层和保护产层、套管的目的。因此,水泥浆外加剂和外掺料的类型、结构、性能及其作用机理成为水泥浆化学的主要组成部分。

粘土是配制钻井液的重要原材料,它的主体矿物为粘土矿物。粘土矿物的结构和基本特性与钻井液的性能及其控制与调整密切相关,所以应对粘土矿物的结构和基本特性有一个基本了解。因此,在本篇中,将粘土矿物单独编成一章,而将钻井液化学和水泥浆化学分别编成另外两章。

第1章 粘土矿物

粘土矿物是粘土的主体矿物,它的晶体结构及其基本特性对钻井液性能有直接的影响。

第1节 粘土矿物的基本构造^[1-3]

虽然粘土矿物种类繁多,结构也不相同,但都有相同的基本构造单元,这些基本构造单元组成基本构造单元片,再由这些基本构造单元片组成基本结构层,最后由这些基本结构层组成各种粘土矿物。

一、基本构造单元及基本构造单元片

粘土矿物有两种基本构造单元,即硅氧四面体和铝氧八面体。这两种基本构造单元组成两种基本构造单元片(又称晶片)。

1. 硅氧四面体与硅氧四面体片

硅氧四面体由一个硅原子等距离地配上4个比它大得多的氧原子构成(图1-1)。从图1-1可以看到,在硅氧四面体中,有3个氧原子位于同一平面上,称为底氧原子,剩下一个位于顶端,称为顶氧原子。

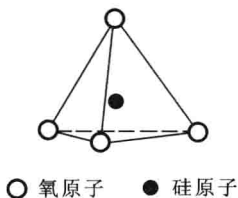


图1-1 硅氧四面体

硅氧四面体片是由多个硅氧四面体共用底氧原子形成的(图1-2)。因此,每个硅氧四面体片均有底氧原子面和顶氧原子面。显然,底氧原子面比顶氧原子面含有更多的氧原子。硅氧四面体片可在平面上无限延伸,形成六方网格的连续结构(图1-3),该结构中的六方网格内切圆直径约为0.288 nm,硅氧四面体片厚度约为0.5 nm。

2. 铝氧八面体与铝氧八面体片

铝氧八面体由一个铝原子与6个氧原子(或羟基)配位而成(图1-4)。

同样,铝氧八面体片也是以共用氧原子的形式构成的。铝氧八面体片有两个相

互平行的氧原子(或羟基)面,铝氧八面体片中所有氧原子(或羟基)都分布在这两个平面上(图 1-5)。

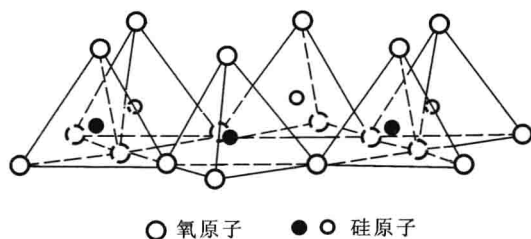


图 1-2 硅氧四面体片

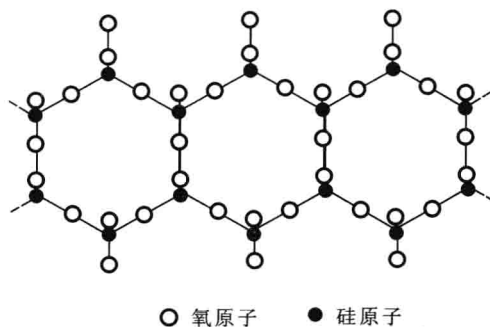


图 1-3 硅氧四面体片的六方网格结构

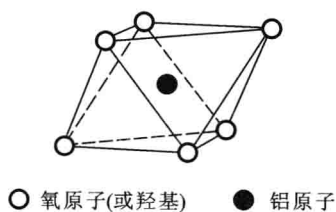


图 1-4 铝氧八面体

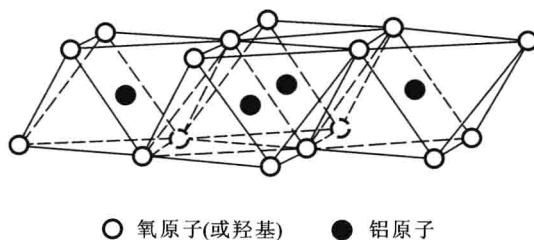


图 1-5 铝氧八面体片

二、基本结构层

粘土矿物的基本结构层(又称单元晶层)是由硅氧四面体片与铝氧八面体片按不同比例结合而成的。

1. 1:1 层型基本结构层

这种基本结构层是由 1 个硅氧四面体片与 1 个铝氧八面体片结合而成的,它是层状构造的硅铝酸盐粘土矿物最简单的晶体结构。

在 1:1 层型的基本结构层中,硅氧四面体片的顶氧原子构成铝氧八面体片的一部分,取代了铝氧八面体片的部分羟基。因此,1:1 层型的基本结构中有 5 层原子面,即 1 层硅原子面、1 层铝原子面和 3 层氧原子(或羟基)面。高岭石的晶体结构是由这种基本结构层构成的。

2. 2:1 层型基本结构层

这种基本结构层是由 2 个硅氧四面体片夹着 1 个铝氧八面体片结合而成的。2 个硅氧四面体片的顶氧原子分别取代了铝氧八面体片的两个氧原子(或羟基)面上的部分羟基。因此,2:1 层型的基本结构中有 7 层原子面,即 1 层铝原子面、2 层硅原子面和 4 层氧原子(或羟基)面。蒙脱石的晶体结构是由这种基本结构层构成的。

三、由基本结构层重复堆叠引申出来的概念

粘土矿物分别由上述两种基本结构层堆叠而成。当两个基本结构层重复堆叠时,相邻基本结构层之间的空间称为层间域。基本结构层加上层间域称为粘土矿物的单元构造。存在于层间域中的物质称为层间物。若层间物为水,则这种水称为层间水;若层间域中有阳离子,则这些阳离子称为层间阳离子。相邻基本结构层的相对应晶面间的垂直距离称为晶层间距。这些都是由基本结构层重复堆叠引申出来的重要概念。

第 2 节 粘土矿物

粘土矿物有高岭石、蒙脱石、伊利石、绿泥石、坡缕石、海泡石等,其中以前三者最为常见。

一、高岭石

高岭石的基本结构层由 1 个硅氧四面体片和 1 个铝氧八面体片结合而成,属于 1:1 层型粘土矿物。基本结构层沿层面(即直角坐标系的 a 轴和 b 轴)无限延伸,沿层面垂直方向(即直角坐标系的 c 轴)重复堆叠而构成高岭石粘土矿物晶体,其晶层

间距约为 0.72 nm(图 1-6)。

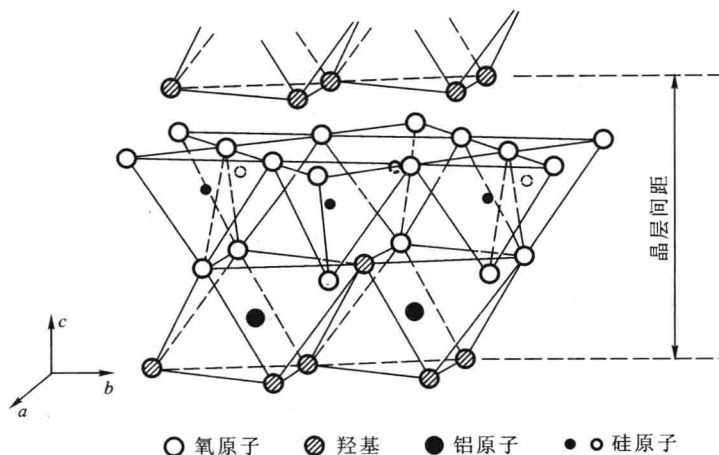


图 1-6 高岭石的晶体结构

在高岭石的结构中,晶层的一面全部由氧原子组成,另一面全部由羟基组成。晶层之间通过氢键和分子间力紧密联结,水不易进入其中。

高岭石很少晶格取代。所谓晶格取代,是指硅氧四面体中的硅原子和铝氧八面体中的铝原子为其他原子(通常为低一价的金属原子)所取代,例如硅原子为铝原子取代、铝原子为镁原子取代等。晶格取代的结果是使晶体的电价产生不平衡。为了平衡电价,需在晶体表面结合一定数量的阳离子。这些只是为了补偿电价而结合的阳离子是可以互相交换的,所以称为可交换阳离子(又称补偿阳离子)。由于高岭石很少晶格取代,所以它的晶体表面就很少的可交换阳离子。

在粘土矿物中,高岭石属于非膨胀型的粘土矿物,这可从其晶层间存在氢键和晶体表面只有很少的可交换阳离子两方面理解。

二、蒙脱石

蒙脱石的基本结构层是由 2 个硅氧四面体片和 1 个铝氧八面体片组成的,属于 2:1 层型粘土矿物。在这个基本结构层中,所有硅氧四面体的顶氧原子均指向铝氧八面体。硅氧四面体片与铝氧八面体片通过共用氧原子联结在一起。基本结构层沿 a 轴和 b 轴方向无限延伸,沿 c 轴方向重复堆叠而构成蒙脱石粘土矿物晶体(图 1-7)。

在粘土矿物中,蒙脱石属膨胀型粘土矿物。这一方面是由于在蒙脱石结构中,晶层的两面全部由氧原子组成,晶层间的作用力为分子间力(不存在氢键),联结松散,水易于进入其中;另一方面是由于蒙脱石有大量的晶格取代,在晶体表面结合了大量的可交换阳离子,水进入晶层后,这些可交换阳离子在水中解离,形成扩散双电层,使晶层表面带负电而互相排斥,产生通常看到的粘土膨胀。