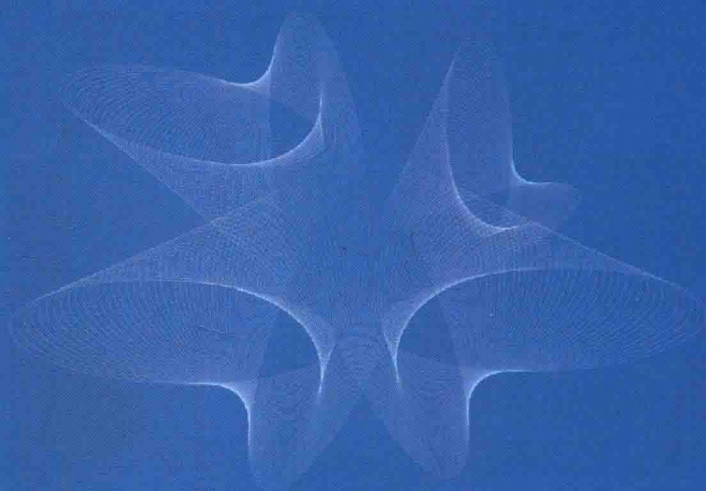


油气田微生物学 原理与应用技术

秦芳玲 柯从玉 孙妩娟 著



科学出版社

油气田微生物学原理 与应用技术

秦芳玲 柯从玉 孙妩娟 著

“西安石油大学优秀学术著作出版基金”

“陕西省油气田环境污染与储层保护重点实验室”

联合资助出版



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了油气田微生物基础理论及在油气开发中的应用,详细阐述了油气藏微生物学、微生物采油技术原理与现场应用技术、油气微生物勘探技术、微生物脱硫技术、油气田有害微生物的控制技术及石油污染物的微生物降解的基本原理、发展概况、现场应用实例及应用效果。同时还介绍了这些油气藏微生物技术目前存在的问题及发展方向。本书理论和实践相结合,系统介绍了油气藏微生物学理论及典型现场应用实例,对油气藏微生物学的发展及相关技术的推广应用具有一定的指导意义。

本书可作为石油院校应用化学、石油工程、石油地质和环境工程等学科的专业选修课教材,也可供油气田生产、生命科学和环境科学的科研及技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

油气田微生物学原理与应用技术/秦芳玲,柯从玉,孙妩娟著. —北京:科学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-03-045650-2

I. ①油… II. ①秦… ②柯… ③孙… III. ①微生物学-应用-油气田开发-研究 IV. ①TE3 ②Q939. 97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 215475 号

责任编辑:祝 洁 杨向萍/责任校对:胡小洁

责任印制:徐晓晨/封面设计:红叶图文

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 9 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2015 年 9 月第一次印刷 印张:20 3/8

字数:400 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着国内外对石油需求的剧增和石油工业的发展,石油工业技术与其他学科不断出现交叉和融合,促使一些新技术和新产品不断涌现并用于实践。微生物学作为一门重要的生命学学科,与石油产业上下游技术的紧密结合、相互交叉,促使微生物学原理与技术在石油生产过程中得以不断运用和发展,并在石油工程、石油炼制和环境保护等领域中发挥重要作用,主要包括微生物在石油勘探与开采、腐蚀控制和预防、油气田材料、含油废水及污泥处理和资源化、清防蜡等方面。为了全面深入探索微生物在油气田生产中的有益或危害作用和功能,充分发挥其有益作用,限制其不利影响,有必要对微生物在整个石油与天然气行业的应用原理与技术作详细阐述,使人们充分认识微生物在地球科学、石油工程、环境工程、石油化工等学科的应用和发展前景,使更多的从事上述学科工作或研究的专业技术人员能详细了解和认识到微生物学科在油气田产业中的重要作用,并对他们的工作实践提供参考和指导。

为此,本书作者在结合多年教学和科研实践工作的基础上,从不同角度尽量反映石油微生物的基础理论、研究思路、试验方法、成果和发展趋势,以期能为我国油气田生产和科研工作人员提供有价值的研究和实践工作参考。本书也可作为石油院校应用化学、石油工程、石油地质和环境工程等学科的专业选修课教材,也可供油气田生产、生命科学和环境学科的科研和技术人员作参考。

全书共9章,其中第2、3、9章由秦芳玲撰写,第1、4、5章由柯从玉撰写,第6、7、8章由孙妩娟撰写。全书由秦芳玲、柯从玉负责统稿工作。

在本书编写过程中,参考了国内外相关专家和学者的研究成果,在此表示衷心感谢。本书的出版得到“西安石油大学优秀学术著作出版基金”、“陕西省油气田环境污染与储层保护重点实验室”和西安石油大学化学化工学院的联合资助,在此向关心本书出版的西安石油大学科技处、化学化工学院领导及同事表示衷心感谢,特别感谢西安石油大学李谦定教授、屈撑国教授和张群正教授的全力支持;感谢中国石油天然气股份有限公司华北油田分公司的吴刚和游靖高级工程师及华东理工大学牟伯中教授对本书编写提供的热心帮助和支持;感谢王倩、樊月、李菲和曹海涛等研究生参与本书绘图和修改工作。最后对科学出版社西安分公司祝洁编辑对本书出版的鼎力支持深表谢意。

油气田微生物学原理与应用技术涉及的领域甚广，限于作者的学识水平，书中难免有不足之处，恳请读者给予批评指正！

作 者

2015 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 油气田微生物学的研究意义	1
1.2 油气田微生物学的研究内容	1
1.2.1 油气藏微生物学	2
1.2.2 微生物采油技术原理与现场应用技术	2
1.2.3 油气微生物勘探技术	3
1.2.4 微生物脱硫技术	4
1.2.5 油气田有害微生物的控制技术	4
1.2.6 微生物对石油烃的降解作用	4
第 2 章 油气田微生物学理论基础	6
2.1 油气藏微生物的研究对象	6
2.1.1 细菌和古生菌的细胞结构	6
2.1.2 古生菌的典型类群	15
2.2 微生物的营养	24
2.2.1 微生物的营养要素	24
2.2.2 微生物的营养类型	26
2.2.3 物质进入细胞内的方式	27
2.3 微生物的产能代谢	29
2.3.1 发酵	30
2.3.2 呼吸	34
2.3.3 光合作用	41
2.4 微生物的生长和繁殖	42
2.4.1 微生物的群体生长	42
2.4.2 微生物的培养	44

2.4.3 影响微生物生长和繁殖的物理环境因素	45
2.5 微生物的培养方法	48
2.5.1 培养基的选择和设计	48
2.5.2 微生物的培养方法	50
参考文献	54
第3章 油气藏微生物生态	55
3.1 油气藏生态环境	55
3.1.1 石油的组成	55
3.1.2 油气藏的生态环境条件	56
3.2 油气藏微生物生态	58
3.2.1 油气藏微生物的获得和培养	59
3.2.2 油气藏微生物的主要类群	65
3.3 微生物分子生态学方法与技术 在油藏微生物生态学中的应用	86
3.3.1 16S rRNA 基因文库分析	87
3.3.2 变性梯度凝胶电泳技术	89
3.3.3 荧光原位杂交技术	90
3.3.4 限制性内切酶片断长度多态性技术	90
参考文献	91
第4章 微生物采油技术原理	97
4.1 微生物采油技术概述	97
4.1.1 微生物采油技术的特点	98
4.1.2 我国微生物采油技术研究现状	98
4.1.3 微生物提高原油采收率技术原理	100
4.2 采油微生物菌种的选育与培养	104
4.2.1 菌种筛选的原则与要求	105
4.2.2 高效采油微生物菌种的分离纯化	107
4.3 微生物采油技术的现场试验实施与运行管理	119
4.3.1 MEOR 的 HSE 管理体系的建立	119
4.3.2 微生物菌种的优化复配及发酵生产	120
4.3.3 微生物现场施工方案设计	122
4.3.4 现场效果监测	127
4.3.5 效果评价	127

4.4 微生物驱现场快速监测技术	129
4.4.1 微生物驱现场监测技术现状	129
4.4.2 营养液监测	131
4.4.3 产出液中微生物群落定性定量分析	131
4.4.4 代谢产物分析	133
参考文献	139
第5章 微生物采油现场应用技术	140
5.1 微生物封堵技术	140
5.1.1 微生物堵调技术原理及特点	141
5.1.2 微生物堵调技术	142
5.1.3 微生物堵调存在的问题	145
5.2 微生物吞吐提高采收率技术	146
5.2.1 微生物单井吞吐技术发展概况	146
5.2.2 微生物单井吞吐技术优势	147
5.2.3 微生物单井吞吐工艺过程	147
5.2.4 微生物吞吐选井原则	147
5.2.5 菌液选择	148
5.2.6 微生物吞吐注入方式	148
5.2.7 微生物吞吐现场注入工艺流程	149
5.2.8 现场应用实例	149
5.3 微生物强化水驱	152
5.3.1 选井原则	152
5.3.2 微生物驱注入工艺	153
5.3.3 微生物驱油现场监测	155
5.3.4 效果评价	156
5.3.5 微生物强化水驱在宝力格油田现场应用实例	156
5.4 影响微生物驱效果因素	167
5.4.1 驱油微生物场建立标准	167
5.4.2 营养组分在油藏中的消耗吸附及运移规律	168
5.4.3 采油微生物在地层中的生长、运移及分布规律	171
5.4.4 营养物质浓度对代谢产物的作用	175
5.4.5 微生物场下的聚合物调驱技术	176

参考文献	178
第 6 章 油气田有害微生物的控制技术	180
6.1 有害微生物的腐蚀	180
6.1.1 硫氧化菌	181
6.1.2 硫酸盐还原菌	181
6.1.3 铁细菌	183
6.1.4 腐生菌	185
6.2 微生物造成的堵塞	186
6.3 石油工业中生物膜的危害	187
6.3.1 生物膜的形成	187
6.3.2 石油工业生物膜的危害	189
6.4 有害微生物的测定	190
6.4.1 测试瓶绝迹稀释法	190
6.4.2 培养-镜检法	191
6.5 油田有害微生物的防治	192
6.5.1 硫酸盐还原菌防治法	192
6.5.2 腐生菌和铁细菌防治法	199
6.5.3 微生物膜的防治	199
6.5.4 油田注水高压脉冲电场杀菌	199
6.5.5 国内外油田杀菌剂的研究现状与发展方向	200
参考文献	201
第 7 章 微生物代谢产物在油气田的应用技术	203
7.1 生物表面活性剂的生产及在提高原油采收率方面的应用	203
7.1.1 生物表面活性剂提高采收率机理	204
7.1.2 生物表面活性剂菌种的筛选及发酵	204
7.1.3 脂肽表面活性剂对原油的降黏乳化效果	209
7.1.4 脂肽表面活性剂室内物模驱油实验	210
7.1.5 生物表面活性剂现场驱油实验	210
7.2 生物聚合物在调剖及钻井液方面的应用	213
7.2.1 黄原胶的发酵生产	214
7.2.2 黄原胶的提取	215
7.2.3 应用性能评价	216

7.2.4 矿场实验	220
7.2.5 黄原胶在其他石油工业领域的应用	223
7.3 有机酸及生物气对提高采收率的作用	225
7.3.1 微生物产气量	225
7.3.2 CO ₂ 提高采收率	227
7.3.3 有机酸对提高采收率的贡献	229
参考文献	230
第8章 其他油气田微生物新技术	231
8.1 微生物清防蜡的原理与技术	231
8.1.1 微生物清蜡防蜡发展现状	232
8.1.2 油井的结蜡	232
8.1.3 微生物清蜡、防蜡基本原理	235
8.1.4 清防蜡微生物菌种的筛选	236
8.1.5 微生物清蜡、防蜡选井原则	237
8.1.6 微生物清蜡、防蜡现场注入工艺	237
8.1.7 微生物清防蜡现场应用效果评价指标	238
8.2 微生物脱硫技术	238
8.2.1 石油中硫的存在形式	238
8.2.2 传统脱硫方法	239
8.2.3 微生物脱硫技术	240
8.2.4 生物脱硫研究进展	244
8.2.5 生物脱硫技术的实际应用	244
8.2.6 生物脱硫技术存在的问题及发展前景	246
8.2.7 微生物脱硫技术的展望	247
8.3 油气微生物勘探技术	247
8.3.1 MPOG 的发展历史	248
8.3.2 MPOG 的理论基础	250
8.3.3 MPOG 的方法流程	255
8.3.4 MPOG 的主要特点	255
8.3.5 MPOG 的影响因素	256
8.3.6 MPOG 在中国大庆升平油田应用实例	258
8.3.7 MPOG 的发展趋势	262

参考文献	263
第 9 章 石油污染物的微生物降解	266
9.1 微生物对污染物的降解与转化	266
9.2 石油烃降解微生物	268
9.3 石油烃的微生物代谢途径及机理	270
9.3.1 烷烃的好氧生物降解途径	270
9.3.2 芳香烃的好氧生物降解途径	275
9.3.3 石油烃类的厌氧降解	288
9.4 石油烃生物降解的环境因素	299
9.4.1 石油烃组成和性质对石油烃生物降解的影响	299
9.4.2 温度和 pH 对石油烃生物降解的影响	300
9.4.3 氧和营养物质对石油烃生物降解的影响	300
9.4.4 表面活性剂对石油烃生物降解的影响	301
9.5 石油烃生物降解在环境污染治理中的应用	301
9.5.1 海洋石油污染的生物修复方法	301
9.5.2 石油污染土壤的生物修复技术	304
参考文献	309

第1章 绪 论

1.1 油气田微生物学的研究意义

微生物广泛分布于自然环境中,其他生物不能存在的严寒、高温、盐碱、强酸环境中均有微生物的存在,可以说无所不在、无处不在,表现出强大的适应性,呈现出生态多样性,如陆生微生物生态系统、水生微生物生态系统、大气微生物生态系统、根际微生物生态系统、极端环境微生物生态系统等。在这些生态系统中,微生物不仅参与物质生产,且主要以分解者的角色在物质循环和能量流动中发挥着重要的生物功能,是整个生物圈不可缺少的组成成员,对维持整个地球的元素循环和生态平衡具有非常重要的作用。

微生物学(microbiology)作为一门研究微生物生命活动规律的基础学科,其研究内容包括:微生物形态与构造、生理代谢、生长与繁殖、遗传与变异、形态分布、分类进化和应用技术等,与人类的生活及生产实践一直息息相关,涉及医药卫生、工业发酵、生物工程、环境保护、资源开发、航空航天等各领域,并与各领域学科间相互交叉、不断深入融合,分化形成大量相对独立的分支学科,使其研究领域不断发展和创新,并成为该学科的一大显著特点和发展趋势。

石油与天然气作为一种重要的能源和战略资源,在当代社会和国际政治中占有极其重要的地位。石油天然气工业的发展也往往是影响一个国家发展的经济命脉。当今世界美国、俄罗斯、加拿大、中东和拉美地区国家围绕油气资源的全球能源争夺几十年来从未停止,且愈演愈烈。目前,我国作为全球能源消耗大国之一,但人均能源可采储量远低于世界平均水平,且面临油气资源可采储量逐渐减少,油气供需矛盾日益尖锐的严峻问题。为此,在节约使用和提高能源利用效率的同时,提高我国油气勘测和开发技术、油气集输效率和水平,不断改进石油炼制技术,通过提高国内油气产量,进口优质油气资源,发展新型可替代能源等途径来解决我们面临的能源和资源问题,将对我国长期的、可持续发展十分重要。

1.2 油气田微生物学的研究内容

油气田微生物学(本书作者对微生物学理论和技术体系在石油天然气产业中应用的称谓)是微生物学和石油天然气学科之间相互交叉和融合,促使微生物学

的基础理论和应用技术不断在油气藏基础理论研究、勘探与开发、腐蚀结垢控制、环境污染物治理和生态修复等方面得以应用和迅猛的发展一门新型学科。主要研究内容包括：油气藏微生物、微生物采油技术、石油烃的微生物学降解理论、生物聚合物与表面活性剂、石油环境微生物及其在油气田污染治理中的作用研究等，其中微生物采油技术是发展最为快速、研究和应用最为活跃的分支学科之一。

1.2.1 油气藏微生物学

油藏是一种特殊的极端环境，其温度一般在 $30\sim 140^{\circ}\text{C}$ ，压力从几兆帕到数十兆帕，矿化度从淡水到含盐 20% 以上，基质为孔隙介质，其中充满油、气和水，且随沉积环境的不同，油、气和水性质差别很大。因此，油藏环境具有高温、高压、高矿化度、无氧（高度还原）、多孔介质及其流体等特点，对微生物存活及生长繁殖、群落结构组成和数量会有很大的影响。不同类型的油藏构成不同的、复杂多样的生态环境。在油藏环境条件下的微生物经过长期的自然选择，具有特殊的细胞结构、功能和遗传基因以及对相应强烈限制因子的应答反应。研究此类微生物的类群、细胞结构、生理生化、遗传和生态多样性，将对阐明物种的起源、生物生化、生命生存极限甚至外星生物存在与否均具有重要的理论意义，同时可为环境质量评价、微生物资源开发与利用提供研究基础。

目前油气藏微生物学主要研究内容包括：油气藏微生物的来源、组成和群落结构、代谢过程和特性；微生物对油气形成、原油理化性质的影响；油气藏环境条件对微生物的生长和繁殖的影响；石油烃的微生物学降解理论；利用本源微生物提高原油采收率的机理、关键技术及应用研究；油藏微生物学现代研究技术，包括应用分子生物学技术和系统发育分析方法对油藏微生物种群，包括未被培养的微生物群落进行分类鉴定等。

1.2.2 微生物采油技术原理与现场应用技术

微生物采油技术，也称微生物强化采油技术（microbial enhanced oil recovery, MEOR），是通过将筛选的微生物菌液和培养液注入油藏，或单纯将营养液注入地层，以激活油藏微生物，利用微生物在油藏中生长、繁殖和代谢等活动与油藏固相、液相发生复杂的物理、化学以及生物反应来改善原油在多孔介质中的流动性，增加低渗透带的渗透率，提高油田开采水平，延长油田经济寿命的一项新兴的提高原油采收率的方法。该技术是目前国内外发展非常迅速的一项提高原油采收率技术，是微生物学、生物工程技术、油藏地质学、石油开采工艺学、油田化学等学科相互渗透、相互融合而发展起来的一门综合技术。

目前这一技术已被认为的技术优势包括：开采枯竭油藏；推迟油井的报废时

间,大幅度提高单井原油总产量;有利于采出油层中部分常规方法难于开采的残余油,提高油藏的最终采收率;通过降黏、改善重油、降蜡等实现非均质油藏、稠油油藏的开采等,且开采成本较其他三次采油方法低。从20世纪20年代以来,国内外许多油田中陆续开展了大量微生物采油技术的现场应用试验,取得良好的应用效果,也证实了这一技术在今后油田开发生产中所具有的潜在优势和巨大的经济效益。

微生物采油技术根据实施过程与方法的不同,主要分为内源微生物采油技术和外源微生物采油技术。

(1) 内源微生物采油,又称地下微生物采油技术,是指将在地上模拟油藏条件筛选的微生物菌种与营养物注入油藏,微生物在油藏中运移,生长繁殖,产生多种代谢产物,作用于原油从而提高原油采收率。或用生长繁殖的菌体细胞及代谢产物封堵贮油岩层大的孔道,调整水驱油剖面;或直接利用油藏中的本源微生物群落,通过向地层中注入必要的营养物质,促使油藏微生物大量生长和繁殖,利用微生物及其代谢产物的综合作用以提高原油采收率。地下微生物采油技术解决的技术性问题不同,采用的方法及工程实施也不同,世界范围内开展的地下微生物采油现场实验及应用主要分成六大类:单井(吞吐)增产微生物处理法、微生物驱油法(或微生物强化注水)、激活油藏微生物群落法、微生物选择性封堵法、微生物压裂液压裂法、微生物清蜡处理法(单井清防蜡)等。

(2) 外源微生物采油,即地上微生物采油技术,是通过在实验室筛选的菌株或应用基因工程改造的工程菌在地面经微生物发酵工程进行扩大培养或生产微生物的某种代谢产物,并注入油层,使其发挥驱油功能而达到提高原油采收率的目的。根据地面产生的代谢产物的主要成分,地面法主要分为微生物表面活性剂法和微生物聚合法。前者利用微生物代谢产物—生物表面活性剂取代人工合成的表面活性剂,作用于油-岩石-水三相体系,降低油水界面张力,增强油水乳化,降低残余油饱和度来提高原油采收率,后者则通过微生物产生的生物聚合物(主要为多糖,如黄原胶、藻朊酸等)进行封堵,打开孔道,改善原油流度比,提高注入水波及系数,促进原油开采。

大量实践研究普遍认为,地上微生物采油技术实施的是微生物纯种发酵,产品单一,且成本较高,因此地下微生物采油技术是目前微生物采油研究和开发应用的主要方向,有着更广阔的开发应用前景。

1.2.3 油气微生物勘探技术

油气藏微生物勘探技术(microbiological prospection for oil and gas, MPOG)是油气勘探开发中近地表油气勘探法之一,是地质微生物技术的分支学科,其主要研究近地表土壤层中微生物异常与地下深部油气藏的相关关系。其技术原理

是：深埋于地下富集的天然气的在油气藏压力和浓度的驱动下，其轻烃气体持续向地表作垂直扩散和运移，从而在油气藏上方出现高浓度烃类，近地表介质（土壤）中以这些烃类为能源和碳源的微生物异常发育，尤其是土壤层的烃氧化细菌的数量、代谢活性和分布形态会发生明显的异常变化。因此，通过分析检测此类微生物，主要是气态烃氧化菌的分布规律及其生理、生化特性即可对地下储层油气分布进行预测。

经过 70 多年的发展，MPOG 在理论基础、技术方法、资料处理、成果解释与评价等方面都取得了重大的进展，该技术也日益受到全球油气专家的高度重视。近年来，MPOG 的应用已由纯粹的含油气性预测延伸至储层属性评价领域，从而使该技术成为油气滚动勘探开发的有力工具。

1.2.4 微生物脱硫技术

微生物脱硫，又称生物催化脱硫（BDS），是利用微生物或它所含的酶催化含硫化合物（ H_2S 、有机硫）、将其所含的硫释放出来（转化为 S^0 或 SO_4^{2-} ）的过程。石油中的硫含量为 $0.06\% \sim 0.8\%$ ，这些硫元素在石油燃烧的过程在中生成大量的 SO_2 、 SO_3 等含硫氧化物，给环境带来严重污染。随着能源危机和人们对环境问题的日益重视，世界各国对燃料油中硫的含量要求越来越严格。传统的催化加氢脱硫法对复杂有机硫化物中的硫很难脱除，而且脱硫成本太高。采用微生物脱硫技术不仅操作简单，能耗低，而且能够脱除复杂有机硫化物中的硫元素，虽然该技术还处于研究阶段，远没有达到工业化应用阶段，但该技术是实现 21 世纪绿色化学工程的一个有效手段，具有很高的社会效益和广阔的发展前景。

1.2.5 油气田有害微生物的控制技术

油气田有害微生物的存在严重危害着油气田中油气的开采及环境水质。在油田注水开发中，其注水温度和环境均适合微生物的生长繁殖，微生物的大量生长和繁殖又会造成注水井及油井设备、管线的腐蚀与堵塞。同时，腐蚀产物、菌体及其代谢产物还会堵塞地层，降低地层渗透率，增加注水压力，对油田开发极为不利。因此，快速准确地测定出细菌含量，及时采取措施有效地控制其生长和繁殖，避免或减少细菌的危害，对油田生产具有非常重要的现实意义。

1.2.6 微生物对石油烃的降解作用

在石油及炼化生产的过程中，石油烃的降解与输油管线和油罐的腐蚀（微生物利用原油和烃类生长）、油气勘探（烃降解菌可以指示油气田的存在与否）、环境污染治理、脱蜡、降黏以及微生物强化采油技术等均密切相关，且涉及不同的研究领域。因此，研究微生物对石油烃的降解机制，尤其是探索不同微生物对不

同烃类的生物代谢途径，将有利于充分认识微生物在油气生产中所发挥的角色，充分挖掘和利用石油降解微生物在环境污染治理、原油脱蜡降黏、微生物采油等方面的有益作用，同时探索不同的方法和技术减少或消除其所造成的有害影响或不利作用。

微生物对石油烃降解作用研究的主要内容包括：①石油降解微生物的种类；②石油降解微生物对不同烃类化合物的降解机理，主要包括石油烃的有氧降解和无氧降解机制，且不同种类的石油烃的生物降解途径具有多样性，共代谢在难降解烃类化合物的降解中发挥着十分重要的作用；③影响微生物降解石油烃的因素，包括石油烃的化学结构和理化性质及各种环境因素（如营养条件、pH、温度、电子受体、有害物质、氧化还原电位等）；④微生物对石油烃的降解在污染物之中的应用，尤其是在海洋溢油事故和土壤石油污染的生物修复中的应用技术和发展前景。

第2章 油气田微生物学理论基础

微生物是对自然界中所有形体微小、结构简单、肉眼直接看不见，或看不清楚，必须借助显微镜放大才能观察到的低等微小生物的总称。微生物学研究的微生物种群主要包括古生菌、细菌、真菌、藻类、病毒和原生动物等。它们之间个体大小差异较大，直径为 $20\text{nm}\sim 5\text{mm}$ ，大多数微生物由单细胞构成，病毒则属于非细胞结构生物，藻类、真菌和原生动物则属于真核细胞结构生物。

2.1 油气藏微生物的研究对象

大量研究表明，油藏环境中的内源微生物主要类群包括烃降解菌、发酵菌、硫酸还原菌、产甲烷菌、铁细菌、硫细菌、反硝化细菌、产乙酸盐菌等，它们共同构成了油气藏微生物群落。这些微生物从分类上来讲属于原核生物微生物中的细菌和古生菌。

古生菌和细菌都属于原核生物，二者在细胞形态、基因组织结构等方面非常类似（如单细胞、无细胞核、有闭合环状染色体 DNA、操纵子等），但在细胞分子组成和结构等方面存在较大差别。在遗传特性方面，古生菌在 DNA 复制、转录和翻译机制上与细菌不同，而与真核生物更相似，对抑制细菌生长的抗生素一般不敏感，而对抑制真核细胞生长的某些抗生素敏感。现在随着宇宙生命起源研究的不断深入，显示出古菌在某些大分子结构和遗传上不同于其他的原核生物，而更靠近真核生物，其在进化上与真核生物更接近，古生菌和细菌大约是在 40 亿年以前从它们最近的、共同的祖先分叉进化产生，而现代的真核生物又是从古生菌分叉进化形成的。表 2-1 列举了细菌、古生菌和真核生物在主要生物学特征方面的主要差异。

2.1.1 细菌和古生菌的细胞结构

在已被鉴定的微生物中，细菌被研究的最为透彻。大多数细菌个体微小，细胞直径 $0.5\sim 2.0\mu\text{m}$ ，长度 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 、如杆菌的平均长度约为 $2\mu\text{m}$ 杆菌，宽度约 $0.5\mu\text{m}$ ，典型球菌的体积仅为 $1\mu\text{m}^3$ ，仅能在高倍光学显微镜或电子显微镜下观察到。细菌的结构简单，胞壁坚韧，多以二分裂方式繁殖，且水生性较强。

古生菌 (archaea)，又称古细菌或古菌，是一群具有独特的基因结构或系统发育生物大分子序列的单细胞生物，多生活在地球上的极端环境或生命出现初期