

油田硫酸盐还原菌分子生态学 及其活性生态调控研究

RESEARCH ON MOLECULAR ECOLOGY AND
ACTIVITIES REGULATION OF OILFIELD
SULFATE REDUCING BACTERIA

马放 魏利 © 著



科学出版社
www.sciencep.com

油田硫酸盐还原菌分子生态学 及其活性生态调控研究

RESEARCH ON MOLECULAR ECOLOGY AND
ACTIVITIES REGULATION OF OILFIELD
SULFATE REDUCING BACTERIA

马 放 魏 利 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是国内首部介绍硫酸盐还原菌的理论及其油田污水处理应用的专著。作者在研究硫酸盐还原菌的基础上,创新性地提出了许多新观点和新理论。内容共分8章,包括绪论、试验材料与方法、回注水系统硫酸盐还原菌种群组成及生态分布规律、硫酸盐还原菌的系统进化地位及新种特性、硫酸盐还原菌和反硝化细菌快速定量检测方法的建立、生态调控硫酸盐还原菌活性的关键生态因子及其抑制机理、油田回注水系统硫酸盐还原菌活性生态调控研究,以及研究结论、建议和展望。

本书可供环境微生物分子生态学、微生物生态学、环境科学与工程等专业的高校师生及相关学科研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油田硫酸盐还原菌分子生态学及其活性生态调控研究 / 马放, 魏利著.
—北京: 科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-024788-9

I. 油… II. ①马…②魏… III. 油田注水-污水回注-硫酸盐还原细菌-分子生态学 IV. TE357.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 098436 号

责任编辑: 张 震 / 责任校对: 李奕莹

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2009 年 9 月第一次印刷 印张: 23 1/4 插页: 4

印数: 1—1 000

字数: 437 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

前 言

大庆油田回注水系统中硫酸盐还原菌 (sulfate reducing bacteria, SRB) 大量繁殖, 产生的硫化物导致设备腐蚀或形成垮电场等, 给油田生产带来严重的危害和巨大的经济损失。如何有效地控制 SRB 的繁殖, 减少其对油田生产带来的危害, 制订合理的控制方案, 是油田生产中亟待解决的问题。

生态调控是以往生物抑制策略的延续和改进, 强调整体效能、系统健康和持续控制。本书中提出的 SRB 活性生态调控方法, 改变了以往单纯追求杀灭 SRB 数量的传统思维模式, 转变为以抑制 SRB 活性为目的的研究思路, 是油田系统控制 SRB 危害观念的变革和方法的创新。同时, 书中针对 SRB 进行的基础性研究和提出的相关理论, 填补了油田 SRB 研究领域的空白。

本研究以 SRB 活性的生态调控为主线, 旨在开发出新型的绿色净水剂——SRB 生态抑菌剂和抑菌填料, 提出针对整个回注水系统的生态调控技术和策略。通过采用微生物分子生态学、微生物蛋白组学、环境工程等学科的研究方法和手段, 以应用为主, 理论和实践相结合, 本研究达到解决油田生产中的一些实际问题的目的。相信本书的出版对提升我国在油田 SRB 研究方面的国际地位具有重要的意义。

本书共分 8 章。第 1 章是绪论, 介绍 SRB 的危害、系统发育地位、微生物分子生态学研究现状和反硝化控制 SRB 研究现状等。第 2 章介绍试验材料与方法, 主要包括具体试验仪器与材料、纳米电气石抑菌剂及抑菌陶粒的制备等。第 3 章介绍回注水系统 SRB 种群组成及生态分布规律, 包括大庆油田回注水系统 SRB 分布规律和来源分析、微生物生态学研究方法的优化、常规水驱地面工艺系统和聚合物驱油地面工艺系统的微生物组成及优势种群分析、大庆油田回注水系统中 SRB 和厌氧反硝化细菌 (denitrifying bacteria, DNB) 种属的确定等。第 4 章介绍 SRB 的系统进化地位及新种特性, 包括附着型和非附着型 SRB 的发现, *Desulfovibrio desulfuricans* strain F8 特征描述与基因克隆及全蛋白组表达谱、大庆杆菌-MF (*Enterobacter Daqing* sp. nov.) 和大庆杆菌-WL (*Clostridium Daqing* sp. nov.) 新种的特征及其生物降解特性等。第 5 章介绍 SRB 和 DNB 快速定量检测方法的建立, 主要包括管壁和罐壁附着型 SRB 定量检测、厌氧全过程的最大几率计数工艺、MPN-PCR 法对 SRB 和 DNB 的定量检测、基于实时荧光定量 PCR 实时定量

检测研究等。第6章介绍生态调控SRB活性的关键生态因子及其抑制机理,主要包括生态调控SRB的关键生态因子、DNB底物选择作用等。第7章介绍油田回注水系统SRB活性生态调控研究,主要包括反硝化抑制SRB活性生态调控及种群动态演替研究、SRB生态抑菌剂的研制、回注水系统SRB活性生态抑制调控策略及技术经济分析等。第8章是对相关研究的建议和展望。本书的全部数据来自魏利攻读博士学位期间的研究内容的重新整理、完善,全书内容丰富,具有系统性、科学性、前沿性、实践性和指导性。

本书完成之际,感谢大庆油田有限责任公司科技发展项目,黑龙江省重大攻关项目——特低渗透层油田采出污水资源化研究(编号:GA06C202),国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号:2004CB418505)和国家自然科学基金重大国际合作项目(编号:50521140075)的支持。

在此特别感谢刘广民教授、张照韩博士的支持;诚挚地感谢美国马里兰州立大学张建祺教授的悉心指导,以及在大庆油田共同战斗的周皓、山丹、敖蕾娜日、秦松岩、席欣欣、可宝庆、万春黎的帮助。感谢大庆油田设计院水处理与油田化学研究室陈忠喜主任、乔丽艳主任及徐德会、冯晓敏、赵秋实、舒智明、叶坚、张业贵等工作人员的热情帮助。感谢王博、孙伟在试验中付出的辛苦,感谢实验室高杰、徐善文、邢蕊、孙琳琳、吴波、赵珍、王睿等的帮助,为我们提供了一个良好的试验环境。感谢东北林业大学杨传平教授、魏继承副教授、刘关君副教授提供试验上的方便。

特别感谢城市水资源与水环境国家重点实验室给予的资助,使得本书能顺利地出版。

由于工作量大,难免有疏漏和错误,请有关专家和广大的读者批评指正。

马 放 魏 利

2009年2月于哈尔滨

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 SRB 的系统发育地位和生态学研究	3
1.2.1 SRB 的系统发育地位	3
1.2.2 SRB 的生态学研究	4
1.2.3 SRB 的代谢途径和酶学研究	5
1.3 油田微生物分子生态学和蛋白组学研究进展	7
1.3.1 微生物分子生态学研究方法	7
1.3.2 微生物蛋白质组学表达谱研究	11
1.4 油田 SRB 的危害	12
1.4.1 SRB 对油田开采的影响	12
1.4.2 SRB 的腐蚀机理	13
1.4.3 无机抑菌粉剂和抑菌填料	15
1.5 生态调控的原则和方法	16
1.5.1 生态调控应遵循的基本原则	16
1.5.2 微生物控制 SRB 的机理	17
1.5.3 新型硝酸盐基处理技术	17
1.6 反硝化控制 SRB 的研究现状	19
1.6.1 DNB 的研究进展	19
1.6.2 DNB 对 SRB 的抑制	21
1.6.3 基质竞争性抑制作用	23
1.6.4 反硝化中间产物抑制理论	25
1.6.5 反应系统内部形成厌氧硫循环的观点	27
1.6.6 电位控制观点	27
1.6.7 反硝化控制 SRB 的应用实例	28
1.7 研究目的、意义和主要研究内容	29

1.7.1	研究目的与意义	29
1.7.2	研究内容	30
第2章	试验材料与方法	32
2.1	主要试验材料和仪器设备	32
2.1.1	主要的试验材料	32
2.1.2	主要的仪器设备	32
2.2	微生物分子生态学和蛋白质组学试验方法	34
2.2.1	基因文库的构建和分析方法	34
2.2.2	PCR-DGGE 的电泳图谱的优化	34
2.2.3	SRB 全蛋白表达谱和表达谱差异研究	37
2.3	大庆油田回注水系统水质特征	39
2.3.1	大庆油田地面水处理站硫化物含量分布状况	39
2.3.2	大庆油田典型水处理站水质特征	40
2.3.3	回注水系统中 SRB 和硫化物测试点的选择	44
2.4	SRB 分离纯化	46
2.4.1	分离介质类型和采样地点	46
2.4.2	分离筛选的方法	46
2.4.3	SRB 的分离纯化	47
2.5	SRB 和 DNB 的定量检测	48
2.5.1	基于特定基因的 MPN-PCR 法的试验方法	48
2.5.2	实时荧光定量 PCR 对 SRB 和 DNB 的定量检测	49
2.6	新型无机抑菌粉剂和抑菌陶粒的制备及抑菌效能	50
2.6.1	纳米/微米电气石的测试和表征	51
2.6.2	纳米氧化锌的制备和表征	52
2.6.3	电气石载纳米氧化锌无机抑菌粉剂的制备和表征	53
2.6.4	电气石载铜无机抑菌粉剂的制备和表征	54
2.6.5	电气石载铝无机抑菌粉剂的制备和表征	55
2.6.6	电气石载锰无机粉剂的制备和表征	56
2.6.7	新型抑菌陶粒制备及其抑菌效能	57
2.7	生态调控 SRB 活性的关键生态因子	63
2.7.1	间歇试验条件选择	63
2.7.2	间歇试验步骤	64

2.8	生态调控 SRB 活性的连续流试验设计方法	66
2.8.1	反硝化作用抑制 SRB 活性的连续流试验设计方法	66
2.8.2	反硝化作用抑制 SRB 活性的现场水试验设计	67
2.8.3	生态抑菌剂和抑菌陶粒联合抑制室内连续流试验	67
2.8.4	联合抑制现场水连续流试验	68
第3章	回注水系统 SRB 种群组成及生态分布规律	69
3.1	大庆油田回注水系统 SRB 分布规律和来源分析	69
3.1.1	常规水驱处理站系统 SRB 分布规律	69
3.1.2	聚驱处理站系统 SRB 分布规律	71
3.1.3	两个系统中 H_2S 含量测试结果及分析	73
3.1.4	两系统总铁、腐蚀速率测试结果及分析	74
3.1.5	回注水系统中硫化物分布规律和成因分析	77
3.1.6	油田回注水系统 SRB 来源分析	81
3.2	PCR-DGGE 条件优化	83
3.2.1	不同 16S rDNA 靶序列对 DGGE 分析的影响	83
3.2.2	时间进程法对电泳时间和电泳条件的优化	86
3.3	常规水驱地面工艺系统微生物组成及优势种群分析	90
3.3.1	常规水驱采出液中 16S rDNA 克隆文库种群组成分析	90
3.3.2	常规水驱地面工艺系统流动相微生物种群组成及动态演替 分析	94
3.3.3	基于腺苷酸还原酶基因文库的 SRB 种群的组成	97
3.4	聚合物驱油地面工艺系统微生物组成及优势种群分析	99
3.4.1	聚合物驱油采出液的 16S rDNA 基因克隆文库种群组成分析	100
3.4.2	电脱水器电附着物微生物组成以及优势菌种分析	102
3.4.3	注聚工艺生物膜微生物组成及以演替分析	107
3.4.4	聚驱地面工艺系统流动相微生物种群组成及动态演替分析	110
3.5	大庆油田回注水系统中 SRB 和 DNB 种属	113
3.5.1	GenBank 中注册的具有硫酸盐还原功能的微生物种属	113
3.5.2	GenBank 中具有反硝化功能的微生物种属	114
3.5.3	基于 16S rDNA 文库的 DNB 微生物组成研究	115
3.6	小结	116

第 4 章	SRB 的系统进化地位及新种特性	117
4.1	SRB 的系统发育分析及形态特征	118
4.1.1	附着型和非附着型 SRB 的发现	118
4.1.2	优势 SRB 的形态特征和系统发育分析	119
4.2	<i>Desulfovibrio desulfuricans</i> strain F8 特征描述及基因克隆	126
4.2.1	模式菌株的形态和生理生化特征以及脂肪酸分析	126
4.2.2	16S rDNA 序列系统发育学分析	126
4.2.3	<i>Dsr</i> 基因的克隆和序列同源性分析	127
4.2.4	<i>Dsr</i> 基因的可读框和功能分析	129
4.2.5	<i>aps</i> 基因的克隆和序列同源性分析	131
4.2.6	<i>aps</i> 基因的可读框和功能分析	132
4.2.7	模式菌株的聚合物降解生物降解特性	134
4.3	模式菌株的全蛋白组表达谱研究	135
4.4	大庆杆菌-MF (<i>Enterobacter Daqing</i> sp. nov.) 新种特征及其生物降解特性	135
4.4.1	新种特征	135
4.4.2	MF 菌株对聚合物的降解	136
4.5	大庆杆菌-WL (<i>Clostridium Daqing</i> sp. nov.) 新种特征及其生物降解特性	139
4.5.1	新种特征	139
4.5.2	WL 菌株生物降解特性	140
4.6	SRB 的生理生态因子	144
4.7	小结	145
第 5 章	SRB 和 DNB 快速定量检测方法的建立	147
5.1	管壁和罐壁附着型 SRB 定量检测	148
5.1.1	附着型 SRB 检测装置	148
5.1.2	管壁和罐壁附着型 SRB 定量检测	149
5.2	厌氧全过程的倍比稀释纯培养计数工艺	150
5.2.1	厌氧培养基配制装置的改进	151
5.2.2	用于倍比稀释的厌氧无菌水的配制	152
5.2.3	厌氧 SRB 培养基改良和加药方法改进	152
5.2.4	采用摇床培养缩短培养时间	155

5.2.5	实现第3天初步计数、第4天稳定计数	155
5.2.6	标准培养基与改良培养基的比较分析	155
5.3	MPN-PCR 法对 SRB 和 DNB 的定量检测	157
5.3.1	直接用于 PCR 扩增的“菌液制备”	157
5.3.2	DSR-MPN-PCR 法对 SRB 的定量检测	158
5.3.3	APS-MPN-PCR 法对 SRB 的快速定量检测研究	160
5.3.4	16S rDNA-MPN-PCR 法对 SRB 的快速定量检测研究	163
5.3.5	16S rDNA-MPN-PCR 法对 DNB 的快速定量检测研究	165
5.3.6	<i>nir S</i> -MPN-PCR 法对 DNB 的快速定量检测研究	168
5.4	基于实时荧光定量 PCR 实时定量检测研究	170
5.4.1	基于 16S rDNA 基因序列硫酸盐还原功能菌的荧光定量检测 方法	170
5.4.2	基于腺苷酸还原酶 (APS) 基因的 SRB 定量检测方法	175
5.4.3	基于异化型亚硫酸盐还原酶 (DSR) 基因的 SRB 荧光定量 检测方法	179
5.4.4	基于 16S rDNA 基因的 DNB 荧光定量检测方法	183
5.5	小结	188
第6章	生态调控 SRB 活性的关键生态因子及其抑制机理	190
6.1	油田采出水中微生物反硝化和硫酸盐还原能力分析	190
6.1.1	微生物的反硝化作用机理及影响因素	190
6.1.2	油田采出水中微生物的硝酸盐还原与硫酸盐还原相对能力	192
6.2	生态调控 SRB 活性的关键生态因子	197
6.2.1	S/N 对抑制效果的影响	197
6.2.2	污泥预培养对抑制效果的影响	200
6.2.3	COD 对抑制效果的影响	203
6.2.4	碳源种类对抑制效果的影响	205
6.2.5	碱度对抑制效果的影响	210
6.2.6	钼酸盐和硝酸盐协同抑制作用	212
6.3	生态调控 SRB 机理验证	220
6.3.1	DNB 和 SRB 对基质的竞争作用	220
6.3.2	反硝化中间产物抑制作用	221
6.3.3	自养 DNB 的氧化作用	225

6.4	DNB 底物选择作用——新理论的提出	226
6.4.1	同时具有反硝化和硫酸盐还原功能菌株的分离和功能验证 ...	227
6.4.2	DNB 的系统发育分析及功能验证	236
6.4.3	DNB 底物选择作用理论的阐述	244
6.5	小结	245
第7章	油田回注水系统 SRB 活性生态调控研究	246
7.1	反硝化抑制 SRB 活性生态调控及种群动态演替研究	246
7.1.1	反应器启动	246
7.1.2	试验运行生态调控过程	247
7.1.3	反硝化抑制效果影响因素	248
7.1.4	微生物群落动态演替和优势反硝化微生物种群	256
7.2	原水反硝化抑制试验效果	264
7.2.1	常规水驱采出液抑制试验效果及群落动态演替研究	264
7.2.2	含聚采出水抑制试验效果和群落动态演替研究	269
7.3	SRB 生态抑菌剂的研制	273
7.4	生态抑菌剂和抑菌陶粒联合抑制室内连续流试验	276
7.4.1	试验运行参数调控过程	276
7.4.2	SRB 反应器培养启动阶段	277
7.4.3	生态抑菌剂抑制 SRB 活性阶段 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 的变化	279
7.4.4	抑菌陶粒抑制 SRB 活性阶段	283
7.4.5	生态抑菌剂和抑菌陶粒联合抑制 SRB 活性阶段	286
7.4.6	降 COD 浓度抑制 SRB 活性阶段	290
7.5	联合抑制 SRB 活性现场水抑制效果	292
7.5.1	普通含油污水处理效果研究	292
7.5.2	含聚污水处理效果研究	295
7.6	回注水系统 SRB 活性生态抑制调控策略及技术经济分析	299
7.6.1	油田细菌控制方法和技术评价	299
7.6.2	油田回注水系统细菌控制技术优化研究	301
7.6.3	SRB 活性生态抑制适宜的投药点	305
7.6.4	SRB 活性生态抑菌剂加药方法和加药原则	305
7.6.5	油田回注水系统 SRB 生态抑制方案	307

7.6.6 SRB 活性生态抑菌剂成本分析及技术经济分析	308
7.7 小结	310
第 8 章 研究结论、建议与展望	312
参考文献	316
附录	329
附录 I 新型抑菌剂和抑菌陶粒表征及抑菌效能	329
I -1 纳米/微米电气石测试表征	329
I -2 纳米氧化锌的表征	330
I -3 电气石载纳米氧化锌的表征	330
I -4 电气石载铜的表征	333
I -5 电气石载钼无机抑菌粉剂的表征	336
I -6 电气石载锰无机粉剂表征	339
附表 II 蛋白表达谱鉴定的蛋白质及匹配序列	342
彩图	

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research background	1
1.2 Review of phylogenies and ecology research of SRB	3
1.2.1 Phylogeny of SRB	3
1.2.2 Physiological and ecological characters of SRB	4
1.2.3 Metabolic pathway and zymological researches of SRB	5
1.3 Review of researches on microbial molecular ecology and proteomics of oilfield microorganisms	7
1.3.1 Methods for the study of microbial molecular ecology	7
1.3.2 Studies on the expression profiles of microbial proteomics	11
1.4 Harm and hazard caused by SRB in the oilfield	12
1.4.1 SRB's effects on the oil exploration	12
1.4.2 Corrosion mechanisms caused by SRB	13
1.4.3 Inorganic antibacterial powder and filling	15
1.5 Ecological regulation and control methods and principles	16
1.5.1 Basic principles of ecological regulation and control	16
1.5.2 Mechanisms of microbial inhibition to SRB	17
1.5.3 Novel nitrate treatment technologies	17
1.6 Review of researches on inhibition SRB through denitrification	19
1.6.1 Review of researches on denitrifying bacteria—DNB	19
1.6.2 Inhibition of denitrifying bacteria to SRB	21
1.6.3 Inhibition of the substrate competition	23
1.6.4 Inhibition of intermediate products produced by denitrification	25
1.6.5 Formation of anaerobic sulfur cycle within the reactor	27
1.6.6 ORP control	27
1.6.7 Application instances of SRB inhibition by denitrification	28
1.7 The research objectives, significances and contents of the book	29

1. 7. 1	Objectives and significances	29
1. 7. 2	Research contents	30
Chapter 2	Materials and Methods	32
2. 1	Equipments and apparatuses	32
2. 1. 1	Materials	32
2. 1. 2	Equipments and apparatuses	32
2. 2	Methods for microbial molecular ecology and proteomics study	34
2. 2. 1	Gene library construction and analysis methods	34
2. 2. 2	Optimization of PCR-DGGE electrophoresis	34
2. 2. 3	SRB protein expression profile and profile difference study	37
2. 3	Water properties of water injection system of DaQing oilfield	39
2. 3. 1	Sulfide content distribution pattern of ground water treatment station in DaQing oilfield	39
2. 3. 2	Water characters of typical water treatment station in DaQing oilfield	40
2. 3. 3	Sampling positions for SRB and sulfide detection in the water injection system	44
2. 4	Isolation and purification of SRB	46
2. 4. 1	Isolation medium and sampling positions	46
2. 4. 2	Isolation and selection methods	46
2. 4. 3	Isolation and purification of SRB	47
2. 5	Quantitative detection of SRB and denitrifying bacteria	48
2. 5. 1	MPN-PCR methods with specific gene probe	48
2. 5. 2	Quantitative detection of SRB and DNB bacteria by real-time reverse transcription quantitative polymerase chain reaction (PCR)	49
2. 6	Preparation and characterization of novel inorganic antibacterial powder and bacteriostasis ceramsite	50
2. 6. 1	Test and characterization of nanometer/submicron tourmaline powder	51
2. 6. 2	Preparation and characterization of nanometer zinc oxide	52
2. 6. 3	Preparation and characterization of tourmaline supported nanometer zinc oxide inorganic bacteriostasis powder	53
2. 6. 4	Preparation and characterization of tourmaline supported copper	

inorganic bacteriostasis powder	54
2. 6. 5 Preparation and characterization of tourmaline supported molybdenum inorganic bacteriostasis powder	55
2. 6. 6 Preparation and characterization of tourmaline supported manganese inorganic bacteriostasis powder	56
2. 6. 7 Preparation of novel bacteriostasis ceramsite and its characterization	57
2. 7 Key ecological factors of ecological inhibition to sulfate reduction	63
2. 7. 1 Conditions of batch experiment	63
2. 7. 2 Batch experiment procedure	64
2. 8 Continuous flow experiment for ecological inhibition to SRB's activities ...	66
2. 8. 1 Continuous flow experiment for ecological regulation and control for sulfate reduction inhibition by denitrification	66
2. 8. 2 Ecological regulation and control for sulfate reduction inhibition by denitrification with water produced in the oilfield	67
2. 8. 3 Combined inhibition of ecological bacteriostasis agent and bacteriostasis ceramsite with indoor continuous flow experiments ...	67
2. 8. 4 On-site continuous flow experiment of combined inhibition	68
Chapter 3 Population and ecological distribution pattern of SRB in the water injection system	69
3. 1 SRB distribution pattern and source analysis of the water injection system in DaQing oilfield ground system	69
3. 1. 1 SRB distribution pattern in conventional flooded water treatment station	69
3. 1. 2 SRB distribution pattern in polymer-flooding treatment station ...	71
3. 1. 3 Result and discussion of H ₂ S concentration in two systems	73
3. 1. 4 Result and discussion of total iron and corrosion rate in two systems	74
3. 1. 5 Sulfide source and distribution pattern analysis in ground water injection system	77
3. 1. 6 Source of SRB in water injection system of oilfield	81
3. 2 Condition optimization of PCR-DGGE	83
3. 2. 1 Influence of different 16S rDNA target sequence on DGGE	

analysis	83
3.2.2 Optimization of electrophoresis running time and conditions through time travel method	86
3.3 Microbial composition and predominating population analysis in conventional water flooding ground system	90
3.3.1 Population composition analysis of 16S rDNA clone library in conventional water flooding produced liquid	90
3.3.2 Population composition and dynamic succession analysis of mobile phase microorganisms in conventional water flooding ground system	94
3.3.3 Composition of SRB population based on APS library	97
3.4 Composition and dominating population analysis of microorganism in polymer oil-flooding ground system	99
3.4.1 Population analysis of 16S rDNA clone library in polymer oil-flooding produced liquid	100
3.4.2 Population and predominating species of electrical deposit in electrical dehydration machine	102
3.4.3 Microbial composition and succession analysis of biofilm in the polymer-flooding craft	107
3.4.4 Population analysis of 16S rDNA clone library in polymer oil-flooding adopted liquid	110
3.5 Species of SRB and DNB in DaQing oilfield ground system	113
3.5.1 Registered microorganism with sulphate reducing function in GenBank	113
3.5.2 Species with denitrification function in GenBank	114
3.5.3 Composition studies of denitrification microorganisms based on 16S rDNA library	115
3.6 Conclusions	116
Chapter 4 Phylogeny and characters of novel species of SRB	117
4.1 Phylogenetic analysis and morphological character of SRB	118
4.1.1 Discovery of adhesive SRB and non-adhesive SRB	118
4.1.2 Morphology and phylogenetic analysis of predominating SRB	119
4.2 Description and gene clone of <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> strain F8	126

4. 2. 1	Morphology and physiological-biochemical characteristic of mode strain	126
4. 2. 2	Phylogenetic analysis of 16S rDNA sequence	126
4. 2. 3	<i>Dsr</i> gene clone and sequence homologous analysis	127
4. 2. 4	<i>Dsr</i> gene open reading frame and function analysis	129
4. 2. 5	<i>aps</i> gene clone and sequence homologous analysis	131
4. 2. 6	<i>aps</i> gene open reading frame and function analysis	132
4. 2. 7	Polyacrylamide degrading ability and mechanism of mode strain	134
4. 3	Study on the protein expression profile of SRB	135
4. 4	Characteristic of DaQing bacillus-MF (<i>Enterobacter Daqing</i> sp. nov.)	135
4. 4. 1	Characteristics of species	135
4. 4. 2	Polyacrylamide degrading ability of MF strain	136
4. 5	Characteristic of DaQing bacillus-WL (<i>Clostridium Daqing</i> sp. nov.)	139
4. 5. 1	Characteristics of species	139
4. 5. 2	Polyacrylamide degrading ability of strain WL	140
4. 6	Physiological and ecological factors of SRB	144
4. 7	Conclusions	145
Chapter 5	Establishment of rapid quantitative detection method of SRB and DNB	147
5. 1	Quantitative detection of SRB adhering on the pipe wall and tank wall ...	148
5. 1. 1	Detection equipment of adhesive SRB	148
5. 1. 2	Quantitative detection of SRB adhering on the pipe wall and tank wall	149
5. 2	Serial diluted pure culture counteracting process of anaerobic oxidation process	150
5. 2. 1	Improvement of equipment for anaerobic culture medium preparation	151
5. 2. 2	Preparation of serial diluted anaerobic sterilized water	152
5. 2. 3	Improvement of anaerobic SRB culture medium and modification of dosing method	152