

油田水处理技术丛书

主 编 魏 利 陈忠喜 任南琪

Development and Application of Oily Sludge Treatment
Technology by Using Biological and Electrochemical
Coupling Technology

油田含油污泥生物-电化学耦合 深度处理技术及其应用研究

魏 利 李春颖 唐述山 等/著

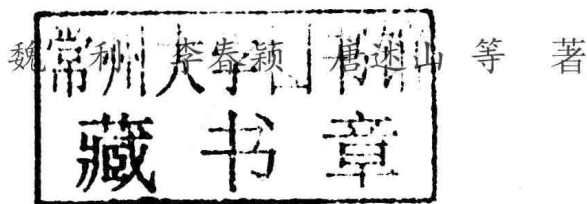


科学出版社

油田水处理技术丛书

主编 魏 利 陈忠喜 任南琪

油田含油污泥生物-电化学耦合 深度处理技术及其应用研究



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书的作者历时 5 年的研究开发,形成了具有自主知识产权的生物-电化学耦合技术,可以有效地处理含油污泥,该技术实现了生物和电化学的生物耦合,并进行了现场的中试试验研究。本书全面地介绍了生物-电化学耦合处理技术研究和应用情况。

本书创新地提出了许多新观点和新理论。其研究内容新颖,具有较强的实用性,是理论与实践相结合的成果。

本书可以作为油田含油污泥处理、固体废弃物处理、环境微生物、环境科学与工程等专业的研究生学习用书以及高校教师的教学用书,也可作为相关领域生产一线的研究人员和工作人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

油田含油污泥生物-电化学耦合深度处理技术及其应用研究 / 魏利等著.
—北京:科学出版社,2016.2

(油田水处理技术丛书)

ISBN 978-7-03-046499-6

I. ①油… II. ①魏… III. ①油田—污泥处理—电化学处理—研究
IV. ①X741.03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 286812 号

责任编辑:张 震 孟莹莹 / 责任校对:张怡君

责任印制:张 倩 / 封面设计:无极书装

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>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 2 月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:316 000

定价:106.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

2015 年是中国的环保年，随着史上最严厉的环保法的出台，油田企业的环保问题突出，很多的生产项目、在建工程，由于环保不达标被勒令整顿和停产。油田企业必须重视和面对环保这一问题，寻找新的技术和方法解决环保问题。

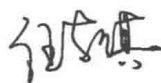
油田含油污泥的处理成为近年来环境保护研究的热点和难点，如果处理不当将造成二次污染。由于我国在油田环保方面起步较晚，含油污泥的处理没有得到足够的重视，国内这方面的技术几乎处于空白状态，近几年才真正开始进行含油污泥处理，国外技术成功引进的案例也较少。油田含油污泥主要包括各种施工作业产生的落地油泥、沉降罐污泥、三相分离器油泥及生产事故产生的溢油污泥等。随着原油开采的不断深入，含油污泥总量不断增加，每年将新产生含油污泥几十万吨，对环境造成的污染日趋严重。含油污泥已被列入《国家危险废物名录》，按照《中华人民共和国清洁生产促进法》要求必须对含油污泥进行无害化处理。国内外耗费了大量人力、物力进行含油污泥有效处理的研究，相继尝试过焚烧、固化、脱水、回注、洗油、生物等技术方法处理含油污泥，但到目前为止还没有研发成功一种既高效又经济的技术。现行的许多方法都是视含油污泥为废物，或仅仅利用了含油污泥的燃烧热，忽略了含油污泥本身所具有的资源价值。随着天然资源的短缺和固体废物排量的激增，许多国家把固体废物作为“资源”积极开展综合利用，固体废物已逐渐成为可开发的“再生资源”，含油污泥资源化利用将是其最终处置的根本方式。

李克强总理提出了“大众创业、万众创新”的号召，核心是创新，创新的一个重要的内容是技术，技术的终极目标要真正地解决生产的实际问题，光靠引进国外的技术是不可行的，只有根据本土的特点研发出接地气的、自主知识产权的技术才是解决环保问题的核心和关键，也是最可靠的途径。

由哈尔滨工业大学市政工程学院魏利博士、哈尔滨商业大学李春颖博士以及安洁士环保（上海）有限公司唐述山副总经理共同编著的《油田含油污泥生物-电化学耦合深度处理技术及其应用研究》一书，填补了国内在含油污泥深度处理领域的图书空白，将对广大从事环保科研工作者的科学研究和工程实践具有针对性的指导意义。

作者根据多年来在生产和科研一线含油污泥处理方面获取的实践经验,通过自主研发,系统地描述了从菌剂开发、室内小试以及现场中试放大的过程,科研到工程应用的转化和历程。另外,该书内容充分体现了理论联系实际的思想,结合含油污泥处理技术在解决实际工程问题、指导工程实践中的应用,体现了该类新兴技术对人类实际生产的应用价值及意义,在内容上也充分体现了学以致用的原则。

总之,该书在遵循全面落实科学发展观的基础上,独立自主研发的含油污泥生物-电化学耦合深度处理技术工艺与我国经济、环境、社会健康及可持续发展密切相关,将极大地满足从事环境保护、环境微生物学、环境工程等领域的教学、科研、工程技术人员对此类技术的需求。



中国工程院院士 任南琪

2015年8月

前言

由于我国油田环境保护方面起步较晚,含油污泥已被列入《国家危险废物名录》,按照《中华人民共和国清洁生产促进法》要求必须对含油污泥进行无害化处理,处理后的含油污泥达到农用污泥外排的标准(含油量 $\leq 3\%$)。含油污泥种类繁多、性质复杂,相应的处理技术和设备也呈现多元化趋势,目前含油污泥处理技术大致可分为调质-机械脱水工艺、热处理工艺(化学热洗、焚烧、热解吸)、生物处理法(地耕法、堆肥法、生物反应器)、溶剂萃取技术及其对含油污泥的综合利用等。含油污泥已被列为危险固体废弃物,随着环保法规的逐步完善和企业技术进步的要求,含油污泥的污染治理技术已日益引起人们的关注和重视。

含油污泥的处理方法众多,每种方法都有其自身的优缺点和适用范围。含油污泥直接填埋或将含油污泥脱水制成泥饼等简单处理方法是多数油田采用的主要方法,但这种方法带来了一定程度上的经济损失和环境污染。随着各项处理技术的日臻完善,焚烧法、筛分-调质离心法等联合处理方法将是污泥前处理的主要方向,而含油污泥的深度处理“生物-电学耦合处理”具有更广阔的发展前景。同时,鉴于含油污泥中成分复杂,应及时分级、分阶段处理,从而达到含油污泥的无害化处理和资源化应用。因此,对含油污泥处理技术工艺的产生、原理、发展及应用进行详尽、清晰的阐述,将能够填补我国在该领域的图书空白。

《油田含油污泥生物-电学耦合深度处理技术及其应用研究》一书,在国内首次集中阐述油田含油污泥处理技术及工艺在环境保护与新能源开发等方面的应用实例,以含油污泥为研究对象,旨在利用各种工艺技术实现能源的回收,同时实现资源化。

全书共9章。第1章绪论,分析了我国含油污泥处理的必要性,以及国内外含油污泥处理的现状并对含油污泥处理发展趋势进行展望;第2章试验材料与方方法,介绍了含油污泥的常规检测方法;第3章大庆油田常规水驱含油污泥来源及其组成分析,对大庆油田常规水驱工艺不同的污泥的来源以及组成进行了分析;第4章筛分-调质离心工艺药剂优化及现场试验研究,介绍了筛分-调质离心工艺的药剂优化以及现场处理效果现状;第5章含油污泥高效电场生物修复菌株的筛选及其菌剂制备,介绍了电化学生物耦合技术专用菌株的分离纯化以及菌剂发酵优化;第6章微生物-电场修复方式室内试验优化及其菌剂处理效果研究,

主要介绍了室内电化学试验以及菌剂的作用效果；第7章微生物-电化学耦合深度处理含油污泥现场处理效能研究，主要介绍了电化学、微生物处理的原理，以及微生物-电化学耦合处理的室内工艺优化；第8章外加营养物质微生物-电化学耦合现场试验研究，主要介绍通过外加营养物质提高微生物-电化学耦合处理效果，提高处理后的污泥的肥力以及降低成本；第9章石油渗透型含油盐碱土壤多尺度生态修复技术，介绍了新型的多尺度生态修复技术及含油污染土壤的生物修复技术及其原理，在大庆油田盐碱地以及井口含油污泥修复的实际工程应用情况。

总之，本书系统地介绍了微生物-电化学耦合深度处理技术的原理及工艺，并归纳总结了其在环境污染治理与土壤肥力提高以及新能源回收开发等方面的应用，有助于增进读者对这类新兴技术的理解与认识。

本书由魏利、李春颖和唐述山等共同完成，参加本书编写的人员如下：第1章由唐述山、智伟、魏超、魏东等编著；第2章由张杰、魏东、魏超等编著；第3章由魏利、李春颖、张景伟等编著；第4章由李永峰、黄松、白明银、唐述山等编著；第5章由魏利、李春颖、魏东、魏超等编著；第6章由魏利、王滨松、李春颖、魏东编著；第7章由李春颖、魏利、魏东、周皓等编著；第8章由魏利、李春颖、唐述山、魏超等编著；第9章由魏利、李春颖、魏超、魏东等编著；全书最后由魏利、李春颖和唐述山统稿。

本书的编写一直得到哈尔滨工业大学副校长任南琪院士的关怀，感谢任南琪院士在百忙之中为本书作序！

大庆油田设计院陈忠喜副总工程师、采油七厂规划所的李殿杰副所长、王峰高级工程师等对本书的编写给予了鼎力支持与帮助。在此对支持和关心本书编写的领导、专家和同事表示衷心的感谢。

本书现场的中试试验在安洁士环保（上海）有限公司的帮助和支持下完成，书稿撰写和出版过程中得到安洁士环保（上海）有限公司的鼎力帮助，编著者深表谢忱！

同时本书得到了哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室开放研究基金（2015TS07）、国家自然科学基金（No.50908063）、国家创新团队项目（No. 51121062）的资助。

本书在编写过程中参考了大量的教材、专著以及国内外生产实践相关资料，在此对这些著作的作者表示感谢。

由于本书内容基于首次探索性的研究工作，且编著者水平有限，书中疏漏和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

作者

2015年8月

目 录

序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 含油污泥处理的意义和必要性	1
1.2 国内外相关技术及发展趋势	2
1.2.1 国内外含油污泥的处理现状	3
1.2.2 国外油田含油污泥处理关键技术	5
1.2.3 国内含油污泥处理技术	6
1.3 含油盐碱土壤污染现状及其处理技术	7
1.3.1 含油盐碱土壤污染现状	7
1.3.2 含油盐碱土壤处理技术发展现状	8
1.4 电化学处理技术原理及应用	12
1.4.1 电化学处理技术原理	12
1.4.2 含油土壤中有机污染物在电场中的行为及研究进展	13
1.4.3 电化学处理土壤中有机污染物的工艺研究	17
1.4.4 含油污泥电化学处理工业化应用	19
1.4.5 含油土壤电化学处理技术的优势	21
1.5 微生物降解原理及技术	21
1.5.1 微生物降解石油的机理	21
1.5.2 微生物降解石油过程的关键因素	26
1.5.3 微生物降解菌剂开发现状	28
1.5.4 微生物群落高通量测序技术应用现状	30
1.6 微生物燃料电池技术 (MFC) 在含油污泥土壤中的应用现状	31
1.6.1 MFC 处理污染物的原理以及研究现状	32
1.6.2 MFC 在石油降解中的应用	36
1.6.3 MFC 在土壤修复中的应用	37
1.6.4 MFC 在盐碱土壤中的应用	39
1.7 研究和展望	39

第 2 章 试验材料与方法	41
2.1 试验仪器和药剂	41
2.2 含油污泥样品来源	42
2.3 形貌特征和组成元素分析	43
2.4 各指标分析方法	43
2.5 微生物群落解析高通量测序方法	45
2.5.1 主要仪器设备和试验材料	45
2.5.2 454-PCR 高通量测序技术方法	45
第 3 章 大庆油田常规水驱含油污泥来源及其组成分析	47
3.1 大庆油田含油污泥物化特性分析	47
3.1.1 含油污泥的质量组分	47
3.1.2 含油污泥矿物组成及粒径	49
3.1.3 含油污泥中油组分与原油组分比较	50
3.2 采油七厂含油污泥组成分析	51
3.2.1 污泥含油量和化学元素含量控制标准	51
3.2.2 污泥含油量	53
3.2.3 污泥化学元素含量	53
3.3 加药处理污泥	55
3.3.1 表面形貌和主要组成元素	55
3.3.2 有机成分分析	56
3.4 污泥浓缩罐污泥	63
3.4.1 表面形貌和主要组成元素	63
3.4.2 有机成分分析	65
3.4.3 无机成分分析	68
3.5 清淤污泥	70
3.5.1 表面形貌和主要组成元素	70
3.5.2 有机成分分析	72
3.6 撬装老化油装置污泥	75
3.6.1 表面形貌和主要组成元素	75
3.6.2 有机成分分析	76
3.6.3 无机成分分析	79
3.7 磁分离技术处理污泥	81
第 4 章 筛分流化-调质离心工艺药剂优化及现场试验研究	83
4.1 筛分流化-调质离心处理工艺特征	83
4.1.1 含油污泥收集池及污泥自动进料	85

4.1.2	污泥分选及流化预处理	86
4.1.3	含油污泥调质	87
4.1.4	含油污泥离心处理	88
4.1.5	油水分离罐和回掺水装置	89
4.1.6	辅助设备	89
4.1.7	污泥堆放场	90
4.2	调质离心工艺参数室内优化研究	91
4.2.1	室内调质-离心试验工艺流程	91
4.2.2	调质-离心试验方法	92
4.2.3	调质离心工艺室内影响因素研究	92
4.3	调质离心处理药剂筛选及优化研究	97
4.3.1	试验检测方法	97
4.3.2	含油污泥化学清洗剂的研制	98
4.3.3	含油污泥化学破乳剂的研制	100
4.3.4	药剂配伍性试验	103
4.3.5	室内药剂投加工工艺参数优化研究	103
4.4	含油污泥处理站现场试验效果	106
4.4.1	现场工艺非稳态运行效果	106
4.4.2	现场单体设备操作参数优化	108
4.4.3	含油污泥处理系统稳定达标试验	109
第 5 章	含油污泥高效电场生物修复菌株的筛选及其菌剂制备	112
5.1	生物破乳剂的制备	112
5.1.1	破乳菌的筛选及其系统发育分析	112
5.1.2	菌剂发酵培条件及培养基的优化	116
5.1.3	破乳菌发酵反应动力学及作用方式	119
5.1.4	生物破乳剂生产工艺及生产工艺优化	123
5.2	石油降解菌剂的制备	124
5.2.1	石油降解菌株的分离筛选及其系统发育分析	124
5.2.2	菌株降解效能的研究	127
5.2.3	菌剂的扩大培养	129
第 6 章	微生物-电场修复方式室内试验优化及其菌剂处理效果研究	131
6.1	电化学生物耦合处理技术	131
6.2	纯电场的污泥处理效果研究	132
6.3	含油污泥微生物菌剂的处理效果研究	135
6.4	微生物-电化学耦合处理含油污泥的室内效果研究	136

6.5 含油泥沙的室内电化学生物耦合深度处理研究	138
6.5.1 试验装置及其方法	138
6.5.2 微生物对含油污泥处理试验	139
6.5.3 纯电场对含油污泥处理试验	140
6.5.4 电化学生物耦合对含油污泥处理试验	142
6.5.5 综合分析	143
第7章 微生物-电化学耦合深度处理含油污泥现场处理效能研究	145
7.1 现场中试试验装置的设计和安装	145
7.1.1 微生物-电化学耦合处理现场试验工艺	145
7.1.2 现场试验装置的安装	146
7.1.3 菌剂和辅助药剂的施加	147
7.2 纯微生物处理反应器	148
7.2.1 温湿度变化	148
7.2.2 pH 的变化	150
7.2.3 含油量的变化	151
7.3 纯电化学处理反应器	152
7.3.1 温湿度的变化	152
7.3.2 pH 的变化	155
7.3.3 含油量的变化	157
7.4 先菌后电处理反应器	157
7.4.1 温湿度的变化	157
7.4.2 pH 的变化	159
7.4.3 含油量的变化	160
7.5 先电后菌处理反应器	161
7.5.1 温湿度的变化	161
7.5.2 pH 的变化	163
7.5.3 含油量的变化	165
7.6 微生物电化学耦合处理反应器	166
7.6.1 温湿度的变化	166
7.6.2 pH 的变化	168
7.6.3 含油量的变化	170
7.7 不同反应器处理效果比较分析	171
7.8 微生物-电化学现场试验问题分析	173
第8章 外加营养物质微生物-电化学耦合现场试验研究	175
8.1 现场装置和配套设施	175

8.1.1 现场装置介绍	175
8.1.2 配套设施	175
8.2 现场装置添加营养物质	176
8.3 不同反应器内部设计和试验方案	177
8.4 含油量监测与结果分析	180
8.5 外加碳源电化学学生物耦合处理展望	186
第9章 石油渗透型含油盐碱土壤多尺度生态修复技术	187
9.1 含油污染土壤生物修复研究进展	187
9.2 土壤重金属修复研究现状	188
9.2.1 重金属污染土壤的植物-微生物联合修复的不同形式	188
9.2.2 重金属污染土壤植物-微生物联合修复技术的影响因素	190
9.3 高效原油降解菌的分离筛选与评价	196
9.3.1 高效原油降解菌的分离筛选与鉴定	196
9.3.2 菌株的降解原油能力评价	198
9.3.3 高效原油降解菌强化堆肥处理含油污泥	200
9.3.4 堆肥处理体系中原油组分的分析	206
9.3.5 植物修复效能研究	207
9.4 含油盐碱土壤修复研究	208
9.4.1 室内生物修复试验研究	208
9.4.2 生物修复产品的效果评价	212
9.4.3 原油污染土壤的现场试验研究	215
9.4.4 技术经济及推广应用前景分析	222
参考文献	225
附录1	239
附录2	245

第 1 章 绪 论

1.1 含油污泥处理的意义和必要性

含油污泥简称油泥，油泥是在石油工业中所产生的最显著固体废物中的一种，是油田开发和储运过程中产生的主要污染物之一，是在石油开采、运输、炼制及含油污水处理过程中产生的含油固体废物，是石油烃类、胶质、沥青质、泥沙、无机絮体、有机絮体以及水和其他有机物、无机物牢固黏结在一起的乳化体系^[1]。油泥中含有数百种有毒有害化合物，其中的某些化合物（苯、多环芳烃等）具有“三致”效应，美国环保署将其列为优先污染物^[2]，并且对其排放有严格的限制，我国也将油泥列入《国家危险废物名录》。目前，我国含油污泥的产量巨大，按照我国 2015 年原油产量 1809 万 t 估算，每年将有近百万吨的油泥，若加上石油化工产生的“三泥”（包括隔油池和浮选池底泥、浮选池浮渣及剩余活性污泥），总量还要大得多。这些油泥通常堆积在油田的联合站，导致大面积的土壤污染，严重影响了油田的正常生产和工人的健康。油泥以及由油泥引起的污染土壤的无害化处理已成为一个亟待解决的科学和技术问题。含油污泥得不到及时处理，将会对生产区域和周边环境造成不同程度的影响：一是含油污泥中的油气挥发，使生产区域内空气质量存在总烃浓度超标的现象，各种正烷烃、支链烃、环烷烃会引起呼吸系统肾脏和中枢神经系统疾病，油泥中有毒重金属（如镍、铬、锌、铅、锰、镉和铜）浓度也比在土壤中高^[3]，如果处理不当会造成人或动物的中毒事件；二是散落和堆放的含油污泥污染地表水甚至地下水，使水中 COD、BOD 和石油类污染物严重超标；三是含油污泥中含有大量的原油，直接排放会造成土壤中石油类物质超标、土壤板结，使区域内的植被遭到破坏，草原退化，生态环境受到影响，现已被列为危险固体废弃物进行管理。另外，一部分污泥在脱水和污水处理系统中循环，造成脱水和污水处理工况恶化，致使污水注入压力愈来愈大，造成了能量的巨大损耗。

另外，如果含油污泥得不到及时处理，也将使油田的经济效益面临巨大的损失。根据《排污费征收标准管理办法》，含油污泥若不进行处理就排放，每吨污泥将面临 1000 元的罚款，油田公司就此一项将面临严重的经济损失。因此，大庆油田必须寻求安全、可靠、先进、经济并能够适应大庆含油污泥特性和现状的新

工艺，对产生的含油污泥进行无害化处理，保护油田区域内的生态环境，保证油田开发的经济效益。

随着国家对环保要求越来越严格，含油污泥无害化、减量化、资源化处理技术将成为污泥处理技术发展的必然趋势。带有有害物质和含油量较高的含油污泥，采用一定的回收处理技术，可将含油污泥中相当量的原油回收，在实现环境治理和防止污染的同时，可以取得一定的经济效益；另外，将处理后的污泥再采用相应治理技术处理，达到国家排放的标准，或者回用铺路等综合利用，能够彻底实现含油污泥的无害化处理。因此，对含油污泥进行经济有效的治理与利用对油田可持续发展具有重要的实际意义。

1.2 国内外相关技术及发展趋势

在过去的几十年中，一系列的油泥处理方法被开发出来，总结其处理方法可分为生物法和非生物法。生物法是通过生物降解作用处理含油污泥，其主要包括土地耕作、堆肥法、生物固化法、生物反应器法、生物浮选法；非生物法是使用物理化学的方法处理含油污泥，主要包括焦化处理、焚烧处理、固化稳定、溶剂萃取、超声处理、热解、光催化、化学处理、热水洗法、调制-脱水法、浓缩干化法，干化场处理法和电化学处理法等^[3]。含油污泥主要处理方法见图 1-1。

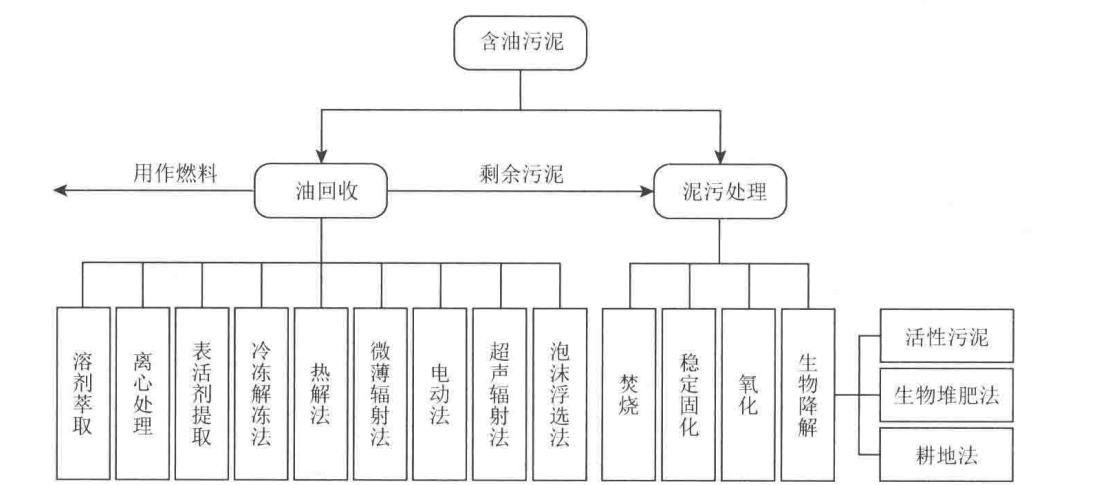


图 1-1 含油污泥主要处理方法

其中，生物法以其运行和处理费用低廉、处理效果好不引起二次污染等优点而日益受到世界各国环保人士的青睐，被认为是处理石油污染最有前途的方法之一^[4]。含油污泥生物降解具有节约能源、投资少以及运行费用低等特点，从 20 世纪 80 年代开始越来越受到人们的关注，其主要包括耕地法、堆肥法、生物强化

法和生物反应器法。

总之,生物法是有效的处理含油污泥的方法之一,也是今后处理含油污泥的发展方向之一。筛选降解菌、研究微生物对污泥降解机理,提高含油污泥生物处理效果是今后的主要发展方向。

1.2.1 国内外含油污泥的处理现状

无论在石油工业的上游生产阶段还是在石油生产的下游阶段都会产生大量的含油污泥,上游包括提取、运输和储存原油的阶段,下游主要包括原油的炼制过程。这些在石油工业中产生的含油废物根据其在含油基质中的水和固体的比率可以进行简单的分类。简单的废油一般含有大量的固体和少量的水,稳定的油包水型乳状液是典型的废物存在的物化形态。上游操作阶段包括油井中的油泥、原油罐底沉淀物和钻井泥浆残留物;下游阶段的油泥有污油乳状固体、热交换管束清洗污泥、油水分离器的残留物。例如,API分离器,平行板拦截器和CPI拦截器,还有轨道、卡车和储罐的底部,来自絮凝浮选(FFU)单元,溶解空气浮选(DAF)单元,诱导的空气浮选(IAF)单元和现场废水经过生物处理装置中的污泥。尤其是有关原油储罐底部的沉积物污泥,有关文献都做了很多很深入的研究。被精炼成石油产品之前,原油通常在储罐中被分离成较重和较轻的石油烃,较重的石油烃通常和固体颗粒、水放置在一起。固体颗粒、水和油混合在一起分布在储罐的底部就形成了我们通常见到的含油污泥,然后在清洗储罐的过程中被分离开来,接受进一步的处理。石油炼制过程中产生的污泥量取决于多种因素,如原油性能(密度和黏度等),炼油加工方案,储油方法,最重要的是精炼能力。根据2005年美国EPA的调查研究,每个炼油厂每年大约产生3万t的含油污泥,其中来自石油行业的含油污泥每年的产量大约是300万t。通常来看,炼油能力的强弱直接和污泥的产生量挂钩,据估计设计加工500万t的原油将产生1t的含油污泥。图1-2列出了近几年各地区的石油炼油量,估计每年将有6000万t的含油污泥被生产出来,那么全球就已经有超过1亿t的含油污泥存在。

目前,从国内外的相关文献来看,应用较多并且比较成功的是采用物理法和化学法(离心分离加化学药剂处理)相结合,即调质-机械脱水工艺,该技术比较成熟,在欧美各地的油田应用广泛并且处理效果良好。该方法的不足是处理效果会受污泥来源的影响,对于污泥中含有大量的砖瓦、草根、塑料等杂物,需要配套预处理设备和工艺。胜利油田、辽河油田和河南油田近几年采用焚烧法处理含油污泥,该方法的缺点是污泥中具有较高经济价值的原油没有回收利用。国内其他油田采用的污泥处理工艺只是简单地浓缩和分离。国外,如加拿大MG工程公司采用的是机械脱水工艺,配合自己专有的药剂;荷兰吉福斯公司采用的是调质-机械脱水+生物处理法;德国HILLER公司采用的是调质-机械脱水+电化学

工艺；新加坡的 CLEANSEAS 公司则采用机械脱水+美国 ADTU 热解吸的工艺；而法国、德国的石化企业多采用焚烧的方式，溶剂萃取的特殊性目前只局限于实验室研究，很难达到工业化应用。减量化、无害化、资源化处理仍然是目前含油污泥处理的目标和趋势。

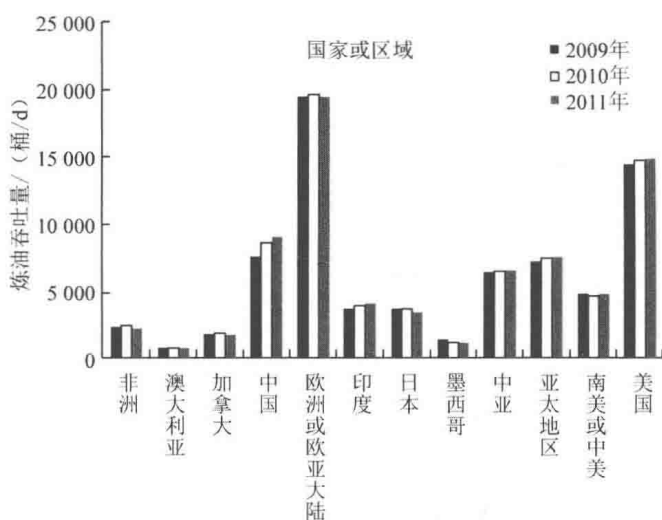


图 1-2 近年各国的炼油量

国际上，各地由于在地质和地理条件上的差异，土壤对油类有机物的耐受程度不同，因此对于污泥中的总石油烃（TPH）或者含油量，世界上没有统一的标准，但是很多国家和地区都根据本地区的实际情况以法规或指导准则的形式提出了相应的现场专用指标，对土壤或污泥中的含油量以及有机物和重金属含量提出了相应的限制。大部分含油污泥处理指标要求都与污泥的最终处置方式有直接的关系。不同国家对处理后含油污泥中的含油量要求的指标见表 1-1。

表 1-1 不同国家对处理后含油污泥中剩余油含量要求的指标

国别	土壤中含油量的要求（重量比例）/%	
	填埋处置	筑路、铺路
加拿大	≤2	≤5
美国	≤2	≤5
法国	≤2	—

国内含油污泥处理标准，针对固体废物国内出台了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，并在此基础上制定了《国家危险废物名录》和《危险废物鉴别标准》，且对危险废物的处置给出规定，制定了《危险废物填埋污染控制标准》（GB18598—2001）和《危险废物焚烧污染控制标准》（GB18484—2001）等。在这些标准和法规中，将含油污泥归类为危险固体废物，但是并没有对含油污泥中

的含油量提出量化指标,大庆油田根据已建和在建的含油污泥处理站筛分-离心-调质离心处理工艺,依据国外对含油污泥处理后污泥中剩余油含量要求的指标($\leq 2\%$),开展其处理试验,并对处理后的污泥采用微生物处理技术和电化学处理技术进行深度处理研究,使深度处理后的污泥中含油的指标 $\leq 3\%$,满足《农用污泥中污染物控制标准》中的要求。

很多文献探讨了通过油的回收和污泥的处理的方法处理油泥中的PHCs,但是仅有很少的方法对油泥中的重金属元素进行处理。因为没有任何一种方法是万能的,所以我们要在新型技术的引进和油回收和污泥处理结合起来上下功夫,也是顺应了资源再利用和相关环境法规的规范^[3,4]。

1.2.2 国外油田含油污泥处理关键技术

常用的油泥物化处理方法有焚烧法、油泥调剖、溶剂萃取法、焦化法、热解法、泡沫浮选氧化热处理、用回旋加速器离心、用于土地耕作和填埋前的电解脱乳法、超临界水氧化法等^[5],但多数价格昂贵、不能彻底去除污染,还有可能引起二次污染。生物处理是一种比较有效的含油污泥处理技术,对人和环境造成的影响小,且处理费用仅为传统物化处理的30%~50%^[6]。生物法主要是探讨通过培养各种微生物菌类对含油污泥的降解效果,同时还有单一菌种和多菌种处理方法^[7]。

国外很早就对含油污泥进行了研究,并且取得了一些成果,几种比较成熟的技术已经进入了工业化阶段,如Paul A.Ruehl等发明了一种综合利用油泥的方法:将油泥与水泥生料混合,搅拌均匀,磨成粉末后送入回转窑制取水泥熟料,在烧结过程中,油类物质得到蒸发和完全燃烧。而由Andritz公司开发的Andritz-CPF脱水处理设备已在日本、美国、法国获得应用^[8]。目前,国外在含油污泥的处理技术上通过大量的研究,在一些方面上也有了进一步的突破,在此期间,为了使资源能够回收再利用,考虑把含油污泥里面的有价值的物质提取出来,于是就有了萃取法。油田含油污泥的种类较多,根据产生的情况不同,一般可分为以下四种:一是各类除油设备、立式沉降罐、储罐及回收水池等设施清理或排放的污泥,一般油含量在10%~30%;二是油水井测试、作业产生的落地油泥,油含量不确定;三是污油回收站产生的含油污泥,一般油含量在5%~20%;四是基建施工、管道设备穿孔产生的落地油泥,油含量不确定^[9],含水率在40%~90%^[10],通过萃取把里面的原油和有机物萃取出来直接回收再利用,而剩余的泥和水也可以作为可回收的无污染物质,既避免了资源的浪费,也不会对资源造成污染。溶剂萃取处理研究表明,污泥与溶剂比为1:8时,5次抽提率可达99.76%,并且随着抽提次数的增加,所得油品中的重组分比例增大^[11]。但是这种方法工艺流程太长,工艺复杂,费用相对较高;热解吸是一种改型的污泥高温处理方法,含油