



# 中国主要产油区 土壤石油污染及其毒性评估

黄艺 汪杰 陈惠苑 廖静秋 黄木柯/著



 科学出版社

# 中国主要产油区土壤石油污染 及其毒性评估

黄 艺 汪 杰 陈惠苑 廖静秋 黄木柯 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书以环境部公益性科研专项项目“石油污染土壤生态毒性微生物传感快速检测技术与方法研究”的研究结果为基础,全面介绍了微生物传感快速检测技术的研发过程,以及毒性评估分级的确定方法。本书重点关注中国采油区土壤中的石油污染,以产油量占全国百分之八十大庆油田,华北地区的华北油田,环渤海地区的胜利油田,中部地区的汉江油田和西北地区的克拉玛依油田为重点研究区,在研究这些区域土壤理化性质的基础上,研究了中国采油区土壤石油污染状态及其生态毒性。全面介绍了微生物传感快速检测技术和生态毒性评估标准。并在呈现了采用该技术的中国采油区污染土壤生态毒性评估结果。

本书可供环境科学和环境监测领域的学者和研究生阅读。以及采油区生态环境保护部门的管理者阅读,为政策策略和管理措施制定和实施的科学基础。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国主要产油区土壤石油污染及其毒性评估 / 黄艺等著. —北京: 科学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-03-057977-5

I. ①中… II. ①黄… III. ①土壤污染-石油污染-毒性-评估-中国 IV. ①X530.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 131395 号

责任编辑: 刘 超 / 责任校对: 彭 涛  
责任印制: 张 伟 / 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>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 6 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 6 月第一次印刷 印张: 7 1/2

字数: 150 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

石油是现代社会的血液，是人类生产和生活必不可少的能源和物质基础。从 1900 年开始，全球各地区石油的生产量和消费量呈持续增加的趋势，到 2015 年全球石油生产量达到 43.6 亿 t，消费量约为 40 亿 t。其中，中国生产了 21.46 亿 t 石油，约占全球总石油生产量的 49%；消费了全球 41% 的石油。石油是古代海洋或湖泊中的生物经过漫长的演化而形成，以含碳有机物为主的复杂混合物。在石油开采、炼制、储运和消费过程中，大量原油及其组分和中间产物，经不同途径进入环境，进而通过呼吸、皮肤接触、饮食摄入等方式进入人体，成为危害人类健康的重要威胁之一。土壤既是石油污染物的源，也是石油污染物的汇。管理土壤中总石油烃的含量，对于控制石油污染物进入水体和大气，防治其对人体健康的影响尤为重要。

然而，在制度层面，土壤中总石油烃的含量并没有列入我国《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995) 中。其原因之一是石油污染为多种物质的混合污染，毒理复杂，生物毒性不易评价。尤其是土壤中的石油污染因土壤环境异质性高，导致其毒性评价更不易。因此，为了解决中国土壤石油污染毒性评价的问题，本书以环境保护部公益性行业科研专项项目“石油污染土壤生态毒性微生物传感快速检测技术与方法研究”为基础，在理论上阐述基于发光细菌的土壤石油污染微生物检测方法，并在对我国采油区土壤的石油污染现状进行调查的基础上，采用自主开发的微生物检测方法，对我国采油区土壤的生物毒性进行评价实践。

本书共分 6 章。第 1 章石油和石油污染，对全球石油的生产消费及污染现状进行综述。第 2 章中国采油区概述，介绍了中国主要石油产区的污染趋势，并确立了中国石油产区土壤污染状况及生态毒性的研究方案。第 3 章中国主要产油区石油污染土壤理化特征，阐述了石油污染对土壤理化性质的影响。第 4 章中国石油产区污染土壤微生物特征，阐述了石油污染对土壤微生物群落的影响。第 5 章石油污染土壤生态毒性检测方法研究。第 6 章石油污染土壤生态毒性评估标准研究及应用。本书所依托的课题研究持续 5 年，在此过程中，北京大学环境科学与工程学院生态过程和微生物技术研究组的所有学生，曹晓峰、柴立伟、刘艳秋、

赵嫣然、张梦君等，都或多或少地参与了研究工作。本书的第1~4章由廖静秋、汪杰、黄木柯和黄艺撰稿，第5、6章由陈惠苑和黄艺撰稿。全书由黄艺定稿。

本书的写作与出版受环境保护部公益性行业科研专项经费项目（20130934）的资助。在此，谨向参与本书研究工作的所有专家学者、技术人员、研究生以及给予本书研究工作帮助、指导的单位和个人表示诚挚的谢意！

由于作者水平、能力有限，不足之处在所难免，敬请各位专家和读者批评指正。

黄 艺

2018年1月24日

# | 目 录 |

## 前言

第 1 章 石油和石油污染	1
1.1 石油的生产和消费趋势	2
1.2 石油对土壤的污染现状	4
参考文献	6
第 2 章 中国采油区概述	8
2.1 中国主要石油产区概况	8
2.2 石油生产及污染趋势	11
2.3 研究设计	13
参考文献	16
第 3 章 中国主要产油区石油污染土壤理化特征	17
3.1 采油区土壤基本理化性质分析	17
3.1.1 采油区土壤物理性质	18
3.1.2 采油区土壤化学性质	21
3.2 石油污染物含量及分布研究	26
3.2.1 研究区总石油烃含量	26
3.2.2 石油组分	27
3.2.3 重金属污染物	28
3.2.4 采油区污染土壤中主要生态毒性物质	30
3.2.5 采油区污染土壤中新型石油污染物环烷酸类物质	31
参考文献	35
第 4 章 中国石油产区污染土壤微生物特征	37
4.1 可培养微生物群落解析	37
4.1.1 可培养微生物群落结构	37
4.1.2 可培养微生物功能群落特征	38

4.2	基于焦磷酸测序结果的细菌群落解析	42
4.2.1	细菌群落结构	42
4.2.2	功能细菌群落特征	49
4.2.3	直链烷烃和多环芳烃降解群落结构	53
4.3	石油污染对微生物群落的影响	56
4.3.1	石油污染对微生物群落结构的影响	56
4.3.2	石油污染对群落活性及功能的影响	62
	参考文献	65
<b>第 5 章</b>	<b>石油污染土壤生态毒性检测方法研究</b>	<b>69</b>
5.1	土壤石油污染物生物毒性检测方法概述	69
5.1.1	高等植物毒性试验方法	69
5.1.2	蚯蚓毒性试验方法	70
5.1.3	哺乳动物毒性试验方法	70
5.1.4	细胞毒性检测技术	70
5.1.5	微生物毒性试验方法	71
5.2	石油污染物感应发光细菌的筛选	72
5.2.1	发光细菌的复活能力比较	73
5.2.2	发光细菌光强对石油污染浓度的响应	74
5.2.3	发光细菌在不同环境条件下对石油污染物的响应	76
5.2.4	费氏弧菌整合环境条件	80
5.3	基于费氏弧菌的石油污染土壤生物毒性检测方法	81
5.3.1	土壤石油污染物萃取剂的筛选	81
5.3.2	费氏弧菌对 Rhamnolipid 萃取的石油污染物的响应时间	85
5.3.3	费氏弧菌发光强度与石油污染物浓度响应关系	86
5.4	石油污染土壤生态毒性快速检测体系	87
5.4.1	石油污染土壤生态毒性快速检测方法	87
5.4.2	方法优势分析	88
	参考文献	89
<b>第 6 章</b>	<b>石油污染土壤生态毒性评估标准研究及应用</b>	<b>91</b>
6.1	石油污染土壤生态毒性评估标准构建基础	91
6.2	土壤石油污染致突变风险	92
6.3	土壤石油污染长期致癌风险	93

6.3.1	土壤多环芳烃终生致癌风险增量模型	94
6.3.2	土壤多环芳烃不同暴露方式摄入的比例	95
6.3.3	土壤多环芳烃长期致癌风险评估值	96
6.3.4	土壤总石油烃长期致癌风险	98
6.4	土壤石油污染潜在生态风险	99
6.4.1	潜在生态风险指数法	99
6.4.2	土壤石油污染指数	100
6.4.3	毒性响应因子	101
6.4.4	毒性释放系数	102
6.4.5	土壤石油污染潜在生态风险评估模型	102
6.5	中国石油污染土壤生态毒性评估标准及其环境意义	103
6.5.1	中国石油污染土壤生态毒性评估标准	103
6.5.2	石油污染土壤生态毒性评估标准的环境意义	104
6.5.3	石油污染土壤生态毒性评估标准毒性表征科学性分析	106
6.6	中国主要采油区石油污染土壤生态毒性评估	106
	参考文献	108

## 第 1 章 | 石油和石油污染

石油是现代生产和生活必不可少的能源和物质基础，它不仅为交通运输提供能源，还为许多工业生产提供基本原料。按其功能，石油产品可分为四类，90%的石油产品为燃料。石油被提炼为汽油、煤油、柴油等，流动在生产和生活中，成为驱动现代社会的血液。在美国，30%的能源由石油提供，这一比例在英国达到50%，在尼日利亚甚至高达90%（OPEC，1996；OSE，2000）。5%左右的石油被加工为润滑油和润滑脂、蜡及其制品、沥青和石油焦等石油化工产品。石油工业是国家综合国力的重要组成部分，石油的安全供应不仅关系到人们的正常生活，也关系到一个国家的经济发展和社会稳定。

《博物志》称“酒泉延寿县南山出泉水，大如筥，注地为沟。水有肥如肉汁，取著器中，始黄后黑，如凝膏，然极明，与膏无异。膏车及水碓缸甚佳，彼方人谓之石漆”。早在公元4世纪，中国人就使用竹竿钻井获取石油，并以之为燃料制盐。到1852年，波兰人依格纳茨·卢卡西维茨（Ignacy Ukasiewicz）发明了从石油中提取煤油的方法。1853年波兰开辟了第一座现代油矿，1861年第一座炼油厂在巴库建立，从此开启了现代石油工业的历史。19世纪80年代之后，世界石油生产在波动中缓慢发展，20世纪初全世界开始了大规模石油开采。截至2014年已发现并开发油田共约41 000个，气田约为26 000个，总石油储量为1368.7亿t，主要分布在160个大型盆地中。全世界可采储量超过6.85亿t的超巨型油田有42个，巨型油田（可采储量大于0.685亿t）有328个。

世界石油分布极不平衡，主要集中在中东地区，北美洲分布也较多。世界第一大油田为加瓦尔油田，位于沙特阿拉伯东部，首都利雅得以东约500km处，石油探明储量达107.4亿t，年产量高达2.8亿t，年产量占整个波斯湾地区的30%。在世界石油探明储量方面，中东地区一直处于主导地位，虽然从1991年开始储量比例有所下降，但2011年仍占世界石油探明储量的48.1%。2001~2011年，中南美洲的石油探明储量发生较大变化，超过了北美洲跃居第二，占世界石油探明储量的比例达到19.7%（图1-1）。石油输出国组织（Organization of the Petroleum Exporting Countries，OPEC）成员（沙特阿拉伯、伊拉克、伊朗、科威特、阿拉

伯联合酋长国、卡塔尔、利比亚、尼日利亚、阿尔及利亚、安哥拉、厄瓜多尔和委内瑞拉) 控制约全球三分之二的石油储备, 占世界石油蕴藏 78% 以上的石油储量, 并提供 40% 以上的石油消费量。

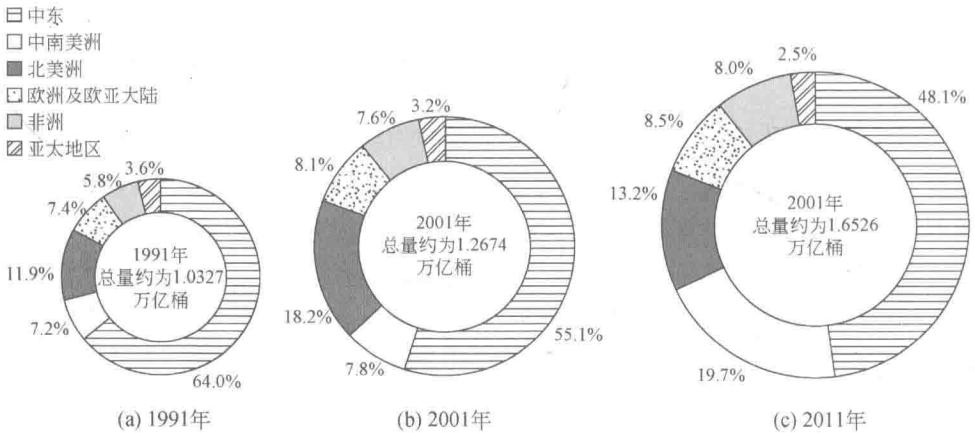


图 1-1 1991 年、2001 年与 2011 年石油探明储量分布图

资料来源: 英国石油公司, 2012, 2013

中国既是石油生产大国, 又是新兴的石油消费大国。由于经济的迅速发展, 石油对外依存度正在迅速攀升, 中国于 2011 年再次成为全球石油消费增长的最大来源 (增长 5.5%, 即 50.5 万桶/d, 1 桶  $\approx$  15 898L), 中长期消费无下降势头。

## 1.1 石油的生产和消费趋势

全球各地区石油产量一直处于持续增加的趋势, 亚太地区和非洲增长尤为明显 (图 1-2)。2011 年世界石油总产量约为 42 亿 t, 中东地区产量最大, 欧洲及欧亚大陆次之 (英国石油公司, 2012)。2011 年全球石油产量的年增长幅度为 1.3%, 即 110 万桶/d。石油产量的净增长几乎全部来自 OPEC。非 OPEC 成员的石油产量大致保持稳定, 美国、加拿大、俄罗斯和哥伦比亚的产量增长弥补了英国和挪威等老产油区域产量的持续衰减以及其他某些国家所出现的意外停产。2012 年全球石油生产量仍在提高, 较 2011 年提高了约 1% (英国石油公司, 2013)。随着陆上页岩油产量持续强劲增长, 2011 年, 美国的石油产量达到了 1998 年以来的最高水平。中国作为世界上石油生产和消费的大国, 在 1978 年石油年产量突破 1 亿 t, 2012 年达到了 2.05 亿 t。

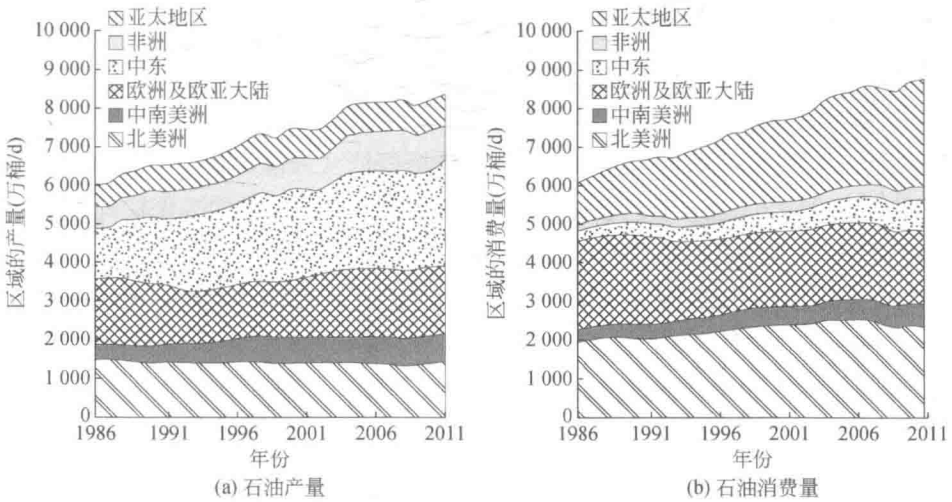


图 1-2 全球分区域石油产量和消费量

1900 年全世界石油消费量约为 2000 万 t, 到 2011 年达到了 43.8 亿 t, 这些年来石油消费量已增长百余倍 (英国石油公司, 2012)。石油消费主要在发达国家, 约占世界消费总量的 80%, 亚太地区自 1986 年以来消费量剧增, 到 2011 年已超过北美地区成为第一大石油消费区, 这和亚太地区, 尤其是中国经济的迅速发展关系密切 (图 1-3)。2011 年全球石油消费增长 0.7%, 达到 8800 万桶/d, 涨幅为 60 万桶/d, 低于历史平均水平。这使石油再次成为化石燃料中全球消费涨幅最小的化石能源。经济合作与发展组织 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 国家的石油消费量减少 1.2% (60 万桶/d), 是过去六年中的第五次下滑, 下降到 1995 年以来的最低水平。尽管油价居高不下, 非 OECD 国家的石油消费量也增长了 2.8%, 即 120 万桶/d。同时由于局势动荡, 中东和非洲等产油区域的石油消费增幅低于平均水平。

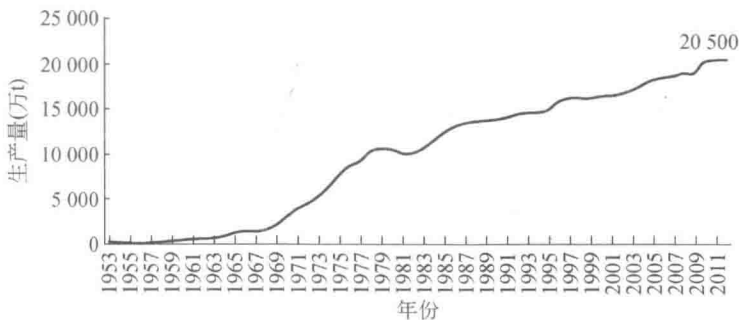


图 1-3 1953~2012 年中国石油生产量

中国石油生产量总体保持上升状态（图 1-3）。1953~1967 年，增长较为平缓，在 1967 年时产量加速提升，并于 1978 年石油生产量突破 1 亿 t，成为世界十大产油国之一。1985 年开始，石油生产量一直保持稳步增长，在 2011 年达到 2.04 亿 t，由世界石油生产国第五位上升到第四位（宋健，2011）。2012 年，石油生产量达到 2.05 亿 t，为史上最大值。作为资源量最充足的油田，大庆油田产量一直位居国内油田产量之首，2006 年至今保持在 4000 万 t 之上。2011 年，大庆油田产量最高，为 4000.04 万 t，较 2006 年产量有所下降，胜利油田次之，长庆油田位列第三，为 2002.01 万 t（萧芦，2012）。根据国土资源部数据，到 2030 年，全国常规石油生产量仍保持在 2 亿 t 以上水平，非常规石油生产量为 3000 万~5000 万 t，总的石油生产量有望超过 2.5 亿 t，将大大增强国内油气的保障能力。

中国石油消费量总体上一直处于不断上升的阶段。1953~1967 年，消费量增加较为平缓；1968 年之后，伴随中国经济社会的发展、人民生活水平的提高，消费量开始显著增加；改革开放以后，我国对石油需求的急剧增加，由 1982 年的 8200 万 t 原油消费量，增加到 2010 年的 4.4 亿 t，涨幅接近 4.4 倍。2007 年世界石油消费总量约为 40 亿 t，其中，中国消费量为 3.88 亿 t，占世界消费总量的 9.7%，到 2012 年，消费量更是达到了 4.9 亿 t（图 1-4）。

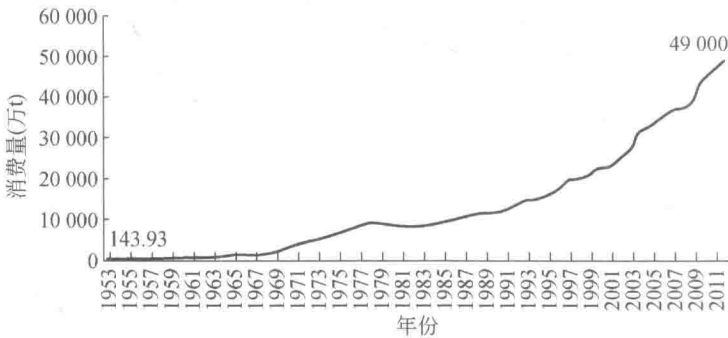


图 1-4 1953~2011 年中国石油消费量

## 1.2 石油对土壤的污染现状

一般来说，当外来污染物进入土壤就认为发生了“土壤污染”。然而，由于土壤对外来污染物具有较高的吸附-固定能力、化学氧化-还原作用和土壤微生物

物的分解作用,可以缓冲外来污染物所造成的危害,降低外来污染物进入自然生态系统的风险,只有外来污染物超过其自净作用的负荷才能称为土壤污染。因此,环境保护部给出的土壤污染定义是:当人类生产和生活产生的污染物进入土壤并积累到一定程度,引起土壤环境质量的恶化,进而造成农作物中某些指标超过国家标准的现象,称为土壤污染。当石油污染物进入土壤环境中并超过相关标准后,会引起土壤的石油污染。将这些含有石油烃类污染物的土壤称为石油污染土壤。

全世界平均每年石油总产量约为 40 亿 t,每生产 1t 石油约有 2kg 石油污染物进入环境。因此,全世界每年约有 800 万 t 石油污染物进入环境,而这些污染物最终会通过各种途径进入土壤环境,造成土壤的石油污染。其中泄漏是导致石油污染最主要的途径。2001 年,美国现有的 300 万个地下储油罐中,发生泄漏的约为 50 万个 (Kao and Prosser, 2001)。英国 30% 以上的加油站及几乎所有的化工厂、炼油厂等均存在严重的油类污染。荷兰有记录的石油污染场地高达 10 万多处。我国有数十万公顷的石油开采区和化工区,含油废水任意排放及石油开发过程中的各种事故也造成了非常严重的土壤石油污染 (贾建丽等, 2009)。

石油开采和使用量的不断攀升,以及对石油污染引起的生态毒害和健康风险的不不断认识,使得石油污染问题已成为世界各国普遍关注的问题,已有国家对不断加剧的石油污染进行了法律约束 (Fitzmaurice, 1978)。

中国同样面临着严峻的石油土壤污染问题。现阶段中国大约有油井 20 万口,部分油田区土壤受石油污染相当严重,油井周围 100m 范围内所采集的绝大多数土样中石油污染物的含量都远高于污染临界值 (刘五星等, 2006)。据初步统计,我国石油化学行业中,平均每年产生 80 万 t 罐底泥、池底泥 (卜淑君, 1992)。其中,胜利油田每年产生含油污泥在 10 万 t 以上,大港油田每年产生含油污泥约为 15 万 t,河南油田每年产生 5 万 t 含油污泥 (李丹梅等, 2003)。在辽河油田的重污染区,土壤原油含量达到 1 万 mg/kg,是 OECD 组织推荐的临界值 (200mg/kg) 的 50 倍。据调查每口井的落地原油辐射半径为 20~40m,污染土地面积为 200~500m<sup>2</sup>,并且因雨水冲刷等原因会导致污染面积不断扩大 (王久瑞和余银玲, 2002)。目前中国作为世界上最大的发展中国家以及石油生产和消费大国之一,自 1978 年以来年造成的石油污染土壤近 10 万 t,石油污染土壤面积达 8000 万 m<sup>2</sup>,每年还有近 60 万 t 石油污染物进入环境,新污染土壤近 1 亿 t (蔺昕等, 2006)。

由于过去数十年间各大油田区采油工艺的相对落后和密闭性不佳,加之环境保护措施、意识和影响评价体系相对落后、污染控制和相应修复技术的缺乏,我国油田区土壤的石油污染程度远高于其他发达国家,土壤的石油污染呈逐年累积加重态势。与国外油田相比,我国的油田开发与城市建设密不可分、相互交错,使油田区土壤污染对周围生态环境、地下水和人体健康的影响显得更为敏感和突出。目前,石油污染土壤严重影响了我国油田区的经济发展和生态环境,成为当地社会、经济和环境可持续发展最主要的制约因素。因此,石油污染土壤的毒性评价和污染土壤的修复,已经成为我国当前环境领域研究的焦点和亟待解决的重大环境问题之一(刘五星等,2001)。

### 参 考 文 献

- 卜淑君. 1992. 石油化学工业固体废物治理 [M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 贾建丽, 刘莹, 李广贺, 等. 2009. 油田区土壤石油污染特性及理化性质关系 [J]. 化工学报, (3): 726-732.
- 李丹梅, 王艳霞, 余庆中, 等. 2003. 含油污泥调剖技术的研究与应用 [J]. 石油钻采工艺, 25 (3): 74-76.
- 蔺昕, 李培军, 台培东, 等. 2006. 石油污染土壤植物-微生物修复研究进展 [J]. 生态学杂志, 25 (01): 93-100.
- 刘五星, 骆永明, 滕应, 等. 2006. 石油污染土壤的生物修复研究进展 [J]. 土壤, 38(5): 634-639.
- 刘五星, 骆永明, 王殿玺. 2001. 石油污染场地土壤修复技术及工程化应用 [J]. 环境监测管理与技术, 23 (3): 47-51.
- 宋健. 2011. 中国石油产量与消费量的动态分析——兼议石油安全供应 [D]. 中国石油大学硕士学位论文.
- 王久瑞, 余银玲. 2002. 油田开发区域草原生态环境演变规律及保护恢复对策 [J]. 油气田环境保护, 12 (2): 36-38.
- 萧芦. 2012. 2006~2011 年中国原油产量 [J]. 国际石油经济, (4): 101.
- 英国石油公司. 2013. BP 世界能源统计年鉴 [R]. 北京: BP 中国.
- 英国石油公司. 2012. BP 世界能源统计年鉴 [R]. 北京: BP 中国.
- Fitzmaurice V. 1978. Legal control of pollution from North Sea petroleum development [J]. Marine Pollution Bulletin, 9 (6): 153-156.
- Kao C M, Prosser J. 2001. Evaluation of natural attenuation rate at a gasoline spill site [J]. Journal of Hazardous Materials, 82 (3): 275-289.

OPEC. 1996. OPEC Annual statistical bulletin [R] //Organization of the Petroleum Exporting Countries.

OSE. 2000. Oil & gas and environment facts[EB/OL]. <http://www.offshore-environment.com/facts.html>. [2015-1-30]

## 第 2 章 | 中国采油区概述

我国到 2012 年已在超过 25 个省（直辖市、自治区）中发现了 400 多个油气田或油气藏，迈入了油气资源的时代。我国油气资源以陆相石油为主，主要存在于大型盆地中的一些“富凹陷”地区内。以油气地质特征和分布规律为基础，结合行政区划、经济地理条件和能源供销规划配置，可将产油区划分为六个大区，即东部（包括东北、华北及江淮地区）、中部（包括陕、甘、宁及川、渝地区）、西部（包括新、青东部及河西走廊—阿拉善地区）、南方、青藏、海域。六大油气区的资源量，由于地质条件和勘探程度的不同，分布不均衡，其中东部石油资源量为 363.4 亿 t，占全国石油资源量的 39.1%，而西部与海域基本相当（247.89 亿 t 与 246.75 亿 t），共占全国资源量的 53.2%。中国十大油田为黑龙江的大庆油田，山东的胜利油田，陕甘宁盆地的长庆油田、渤海油田、延长油田、克拉玛依油田、辽河油田、塔河油田、吉林油田和塔里木油田。其中大庆油田的储量最大，2009 年储量为 4000 万 t，胜利油田次之。

### 2.1 中国主要石油产区概况

东北地区、华北地区、环渤海地区、中部地区和西北地区，提供了中国约 80% 的产油量。本书选择东北地区的大庆油田，华北地区的华北油田，环渤海地区的胜利油田，中部地区的汉江油田和西北地区的克拉玛依油田为重点研究区，研究中国采油区土壤石油污染和生态毒性。

大庆油田是 20 世纪 60 年代至今中国最大的产油区，位于松辽平原中央部分，黑龙江省第二大经济强市、省域副中心城市——大庆市域内，滨洲铁路横贯油田中部。大庆市位于北纬  $45^{\circ} 46' \sim 46^{\circ} 55'$ ，东经  $124^{\circ} 19' \sim 125^{\circ} 12'$ ，东与绥化地区相连，南与吉林省隔江（松花江）相望，西部、北部与齐齐哈尔市接壤，总面积为  $21\,219\text{km}^2$ ，其中市区面积为  $5\,107\text{km}^2$ ，截至 2010 年底市区建成区面积为  $207\text{km}^2$ 。大庆油田光照充足，降水偏少，冬长严寒，夏秋凉爽，属于北温带大陆性季风性气候。大庆油田的土壤类型以黑钙土为主，根据腐殖质累积、碳酸钙淋

淀和附加特征等属性差异又可分为黑钙土、淋溶黑钙土、石灰性黑钙土、淡黑钙土、草甸黑钙土、盐化黑钙土和碱化黑钙土七个亚类（表 2-1）。

表 2-1 研究区主要土壤类型

研究区	土纲	土类	亚类
大庆油田	钙层土	黑钙土	黑钙土 淋溶黑钙土 石灰性黑钙土 淡黑钙土 草甸黑钙土 盐化黑钙土 碱化黑钙土
华北油田	半淋溶土	褐土	褐土 淋溶褐土 棕褐土 褐土性土
胜利油田	半水成土	潮土	潮土 灰潮土 脱潮土 湿潮土 盐化潮土 碱化潮土 灌淤潮土
江汉油田	半水成土	潮土	潮土 灰潮土
克拉玛依油田	漠土	灰漠土	灰漠土 钙质灰漠土 草甸灰漠土 盐化灰漠土 碱化灰漠土 灌耕灰漠土
		灰棕漠土	灰棕漠土 石膏灰棕漠土 石膏盐盘灰棕漠土 灌耕灰棕漠土