

国外油气勘探开发新进展丛书
GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU



HANDBOOK ON THEORY AND PRACTICE OF
BITUMEN RECOVERY FROM ATHABASCA OIL SANDS
(VOLUME I: THEORETICAL BASIS)

阿萨巴斯卡油砂矿中沥青
开采原理及实践
(卷一：理论基础)

[加] Jacob H. Masliyah Jan Czarnecki Zhenghe Xu 著
王屿涛 李娜 张天财 郑红 等译

石油工业出版社

国外油气勘探开发新进展丛书 (十二)

阿萨巴斯卡油砂矿中沥青 开采原理及实践

(卷一：理论基础)

[加] Jacob H. Masliyah Jan Czarnecki Zhenghe Xu 著

王屿涛 李娜 张天财 郑红 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点对加拿大最大的天然油砂矿——阿萨巴斯卡油砂矿从资源状况、开发开采技术背景、油砂开采的流体动力学和物理化学、油砂浆处理与沥青的析出、浮渣与尾矿的处理等方面进行了深入的理论阐述,描述了目前油砂产业科学和技术现状;同时指出油砂开发过程中仍有许多待创新和突破的领域,这些都将作为未来油砂勘探开发者思想的萌芽。

本书是当今油砂开发技术理论和基础的综合性专著,特别是对于我国油砂产业尚处于开发起步阶段的企业和单位具有十分重要的理论指导作用。亦可供从事油砂勘探开发的科研院所、现场科研人员学习参考,也可作为高等院校专业教材和参考书目。

图书在版编目(CIP)数据

阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及实践. 第1卷,理论基础/(加)玛利亚(Masliyah, J. H.), (加)恰尔内茨基(Czarnecki, J. A.), 徐政和著; 王屿涛等译. —北京:石油工业出版社, 2016. 1

(国外油气勘探开发新进展丛书. 第12辑)

书名原文: Handbook on Theory and Practice of Bitumen Recovery from Athabasca Oil Sands
(Volume 1: Theoretical Basis)

ISBN 978-7-5183-0870-5

I. 阿…

II. ①玛…②恰…③徐…④王…

III. 油砂-沥青-矿山开采

IV. TE 626.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第274995号

Translation from the English language edition: “Handbook on Theory and Practice of Bitumen Recovery from Athabasca Oil Sands, Volume 1: Theoretical Basis” by Jacob H. Masliyah, Jan Czarnecki and Zhenghe Xu

Copyright© Jacob H. Masliyah, Jan Czarnecki, Zhenghe Xu, 2011

All rights reserved.

Alberta Innovates—Energy and Environment Solutions (“AI-EES”) owns all right, title and interest (including copyright) throughout the world in and to the book.

本书经 Alberta Innovates—Energy and Environment Solutions 授权石油工业出版社有限公司翻译出版。版权所有,侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2015-8730

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523546 图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 22.5

字数: 560千字

定价: 116.00元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书（十二）》

编 委 会

主 任：赵政璋

副 主 任：赵文智 张卫国 石 林

编 委：（按姓氏笔画排序）

王屿涛 王俊亮 卢拥军 田 冷

刘德来 李文魁 周英操 周家尧

章卫兵

《阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及 实践（卷一：理论基础）》

翻译人员

王 屿 涛	李 娜	张天财	郑 红	熊维莉	黄 强
王 静	王晓钦	张侃毅	何玲娟	王爱军	杨萍萍
赖德贵	蒋 旭	夏新宇	戚亚明	张金琛	李 阳
苏艳丽	王 超	钟 虹			

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺，推动中国石油上游业务技术进步，本着先进、实用、有效的原则，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量，对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进，并翻译和出版。

从2001年起，在跟踪国外油气勘探、开发最新理论新技术发展和最新出版动态基础上，从生产需求出发，通过优中选优已经翻译出版了11辑60多本专著。在这套系列丛书中，有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平，有些非常具有实用性，也是生产中所亟需。这些译著发行后，得到了企业和科研院校广大科研管理人员和师生的欢迎，并在实用中发挥了重要作用，达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。部分石油单位统一购买并配发到了相关的技术人员手中。同时中国石油天然气集团公司也筛选了部分适合基层员工学习参考的图书，列入“千万图书下基层，百万员工品书香”书目，配发到中国石油所属的4万余个基层队站。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可，三次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”，形成了规模品牌，产生了很好的社会效益。

2015年，在前11辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出了国外最新出版的6本专著，即《采油采气工程指南》《阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及实践（卷一：理论基础）》《稠油及油砂提高采收率方法》《煤层气——能源与环境》《控压钻井建模、模拟与设计》《水力压裂化学剂与流体技术》，以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校人员，使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版，并和广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气集团公司副总经理

致 谢

非常感谢阿尔伯达创新机构——能源和环境解决方案（原名为阿尔伯达能源研究所，AERI），加拿大油砂研究和开发网络（CONRAD）和加拿大重油协会在财务上的慷慨资助。如果没有这些机构的大力支持，我们就无法开展油砂手册项目。

阿尔伯达大学化学和材料工程系给我们提供了必要的场地和后勤保障，我们才得以有写作和编辑办公室。感谢系主任 Fraser Forbes 博士对项目的鼎力支持。

感谢同事们为本书编写提供的帮助。为此，感谢 Barry Bara, Graham Cuddy, Hassan Hamza, Tadek Ddbros, Randy Mikula, Robert Tipman, Brenda Wright 和其他同仁的辛勤工作。还感谢来自阿尔伯达创新机构——技术的未来发展（原名为阿尔伯达研究理事会）的 Joe Zhou 博士对本书部分内容的指导。

最后，特别感谢 Marta Dabros 女士在文本编辑、参考文献的核对、绘图、图片以及日常事务处理工作所付出的辛勤劳动，再次感谢她的努力工作。

原书序

我很荣幸地受到本书的主要作者 Jacob H. Masliyah, Jan Czarnecki 和 Xu Zhenghe 3 位博士的邀请, 为《阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及实践》这本书写个简短的序言。他们和其他作者完成了一项里程碑式的工作, 为油砂矿的开发做出了不可磨灭的贡献。本书不仅涵盖了最新的工艺技术和操作的理论基础, 在此基础上可以建立可持续发展且对环境没有危害的油砂工业, 同时获得巨大的经济效益和社会效益。此外, 加拿大和北美洲的能源安全也得到了保证。

要了解该著作的重要性, 人们首先需要知道油砂是加拿大乃至全世界的一种重要战略资源。技术上的突破已经使人们能够在政治稳定的国家中长期开采油砂这样一种安全稳妥资源。能大大降低碳排放量、解决油砂开采过程中的用水问题的技术和工艺的进步, 以及尾矿的储量和土地改良等关键领域的不断改进将持续发挥重大作用。在这些方面取得进步至关重要。

本书不是一本被束之高阁、落满灰尘的研究文献, 它更是一本“活”文献, 它将随着时间的流逝不断地被修正和补充, 是一本通用的、重要的参考书, 能够给学生、研究人员和具体作业员工等相关人员以很多启迪, 并将为开采阿尔伯达巨大的油砂资源的金点子和创新提供知识基础。

保障加拿大的能源未来

“保障加拿大的能源未来”——这是油砂的承诺。大多发现于阿尔伯达省油砂资源的规模非常巨大。加拿大油砂矿的探明储量为 1770×10^8 bbl, 仅次于沙特阿拉伯。该资源量足以使油砂产量翻番 (目前的产量是 130×10^4 bbl/d), 还可以为加拿大提供超过 200 年安全的原油供应。

当然, 加拿大油砂资源的真实储量实际上要大得多, 估计在目前技术条件下的可采储量为近 3150×10^8 bbl, 总地质储量 (1.7×10^{12} bbl) 约等于整个中东的总地质储量。通过地表采矿的方法可以采出阿萨巴斯卡地区大约 20% 的沥青, 其余 80% 需要用帝国石油公司在阿尔伯达冷湖地区研发出的就地开采法, 如循环注蒸汽 (CSS) 工艺, 以及阿尔伯达油砂技术和研究机构 (AOSTRA) 及合作伙伴于 1974—1999 年间研发的蒸汽辅助重力驱进行开采。还有其他的大规模沥青资源, 如碳酸盐岩地层中的沥青, 但目前还没有研发出针对这种沥青的开采工艺。还有一些油砂矿的埋藏深度太深而无法用地表采矿法进行经济开采, 但如果用 SAGD 法进行开采深度又不够。

油砂是一种具有全球战略价值的资源。尽管当今的经济条件比较困难, 但仍然在不断地推进油砂项目, 全球投到加拿大目前和建议项目上的资金约为 1400 亿美元。油砂产量的增长对加强北美洲能源供应的安全很重要。例如, 阿萨巴斯卡油砂油已经占美国进口原油

的大约 20%，能够替代从墨西哥和委内瑞拉进口原油供应的递减。Rand 公司估计美国每年大约花费 670 亿~830 亿美元（美国政府国防预算的 12%~18%）来保护其在全球不稳定产油区的利益。但目前加拿大油砂不在这个范围内，而实际上美国应将其纳入考虑之内。

技术进步是开发油砂潜能的钥匙

众所周知，油砂中的石油储量巨大。当地原著居民过去用带胶性的沥青修补他们的独木舟。早在 1778 年，美国西北公司贸易商 Peter Pond 报道说他在进入阿萨巴斯卡河流域经过 Clearwater 河时（即现在麦克默里堡的所在地）看到了沥青矿。18 世纪 80 年代时，加拿大地质调查部在接到植物学家 John Macoun 关于该地区资源潜力的报告后（John 本来是被派往阿萨巴斯卡地区绘制铁路线建设图的），启动了进一步落实阿萨巴斯卡地区沥青矿藏的工作。调查工作在 Robert Bell, R. G. McConnel 和 George M. Dawson 3 位博士的带领下，于几年间钻了许多井，但大多数井都不成功。当时人们普遍认为石油在砂层下面的矿藏中。

1913 年，联邦矿产部派遣工程师 Sidney Ells 进行更详细的油砂矿的勘察。Ells 认为沥青被圈闭在砂岩沉积物中，用传统方法无法开采。他绘制的地图成为该地油砂资源的第一张综合评价图。他还致力于油砂的描述和改进。

那时，阿尔伯达沥青资源大多用于铺设路面。随着第一次世界大战的爆发，联邦政府重新燃起了开发本土石油资源的兴趣。阿尔伯达研究委员会（ARC）的前身——阿尔伯达科学和工业委员会建于 1921 年，旨在调查本省的自然资源。研究的主要领域是油砂；需要解决的主要问题是如何将沥青从油砂矿中提取出来，从而掀开该地区巨大能源潜力的面纱。尽管早期的先辈们曾建议：用水可能从砂中将石油洗出来。但直到 20 世纪 20 年代才出现了重大的技术突破。1923 年，ARC 化学家 Karl A. Clark 博士同 Sidney M. Blair 和 David Pasternack 一起研发了一种用热水分离（或“洗”）沥青的工艺，Clark 也因此于 1929 年获得了一项专利。该工艺确实是一种有转化能力的技术创新，直到近几年，Syncrude 和 Suncor 公司还在将这种工艺作为初级萃取技术。

技术进步，尤其对油砂业而言，从来都不是简单的事儿，需要多年的专心研发。关于早期的实验性工厂操作以及商业实验的历史很丰富，包括 Clark 博士的 Dunvegan 厂（建于埃德蒙顿，后于 1929 年搬迁至 Waterways）和 Robert Fitzsimmons 于 1922 年 Bitumount 租赁区的采集工作，后期发展成热水处理厂，能产出稠油残渣，其销售由国际沥青公司负责。Max Ball 是一位来自丹佛的石油工程师，他建立了一个公司（后期被称作阿萨巴斯卡石油公司），于 1936 年建成一个处理油砂的工厂，后来在 1941 年的一场大火中毁于一旦。在第二次世界大战对燃料油需求的刺激下，Lloyd Champion 于 1942 年买下了 Bitumount 工厂，将其更名为油砂公司，并用来自于 Clark 博士和阿尔伯达研究委员会的技术和支持对工厂进行升级换代。Bitumount 工厂被阿尔伯达政府接管后，直到 1949 年才完成建设。仅仅在证明了工艺流程的可行性之后，该工厂就被关闭了。与此同时，在 1941—1944 年间重建了 Abasand 工厂，但 1945 年又被烧毁。

1945 年第二次世界大战结束之后直到 20 世纪 70 年代，原油供给过剩导致北美洲大多数井减产，油砂的开发总体上比较谨慎（这种情况随着 1973 年阿拉伯石油禁运和 1979 年

伊朗石油禁运发生了巨大变化，这两个事件都表明了随着世界人口的增长和发展中国家人民生活水平的不断提高，对能源的需求也日益增长）。战后能源供给过剩的结果是，直到1964年大加拿大油砂公司〔GCOS，即现在的 Suncor（森科）公司〕在 Sun 石油公司的支持下（该公司的 CEO 是非常有远见卓识的 Howard Pew）才获批开发建设第一个大型商业工厂。有趣的是，这个工厂于1967年开始运转，但日产量受限，不得超过31500桶/日，Syncrude 的竞争申请也被否决，理由是会冲击原油市场。Syncrude 当时是 Cities Services 有限公司（现在的 Nexen 公司）的合伙人，尽管受挫，但它和帝国石油公司、Gulf 石油公司以及 Atlantic Richfield 公司于1964年12月一起合作。在 Syncrude 的第一任 CEO——Frank Spragins 的带领下，继续谋求技术进步，终于在1971年得到一个 Syncrude 工厂的许可。该工厂1973年动工，1978年建成；Spragins 先生亲眼看到了自己的梦想变成了现实，尽管时间很短暂，因为在开工2个月后他就去世了。

早期另一项大型的油砂商业开发是帝国石油公司的冷湖沥青分级处理项目（目前该项目分14级），它使深层沥青矿得以大规模开发且在经济上可行，因此具有重要的战略意义。帝国石油公司自1959年在 Ethel 和 May 试验区开工以来，多年来致力于研发周期注蒸汽激产或“蒸汽吞吐”技术，目前已成为加拿大最大的沥青生产商。

国家油砂突击队已成为历史

由于 Suncor 和 Syncrude 面临重大现实问题和高昂的操作成本，所以油砂的开发在 Syncrude 开工后受到很大的制约。当时的经济比较低迷，1986年全球原油价格暴跌（每桶低于10美金）。很多人在怀疑油砂是否经济可行。我当时从帝国石油到 Syncrude 任职，到了福特麦克默里，在那里我可以明显地感觉到对油砂未来的这种担忧。

3个大型商业作业项目——Esso 的冷湖项目、Syncrude 和 Suncor 的福特麦克默里项目，都为提高油砂作业的安全性、实际作业的可靠性以及降低成本方面尽了最大的努力。他们曾提出了几个大型项目计划但都未能按计划开展。其中最值得一提的是 OSLO 合资项目，它于20世纪90年代初被搁置。后来，油砂作为国家重要资源的地位不再。我记得同渥太华的政治家们谈过，当他们得知 Syncrude 能满足加拿大能源需求的10%时感到非常惊讶。加拿大东部一家著名报纸的编辑委员会的成员之一曾问我油砂是否已商业化了。我曾开玩笑地说自己是加拿大最保守秘密的 CEO。

到20世纪90年代中期，在对安全、可持续发展以及技术创新的关注下，三大项目的作业趋势转好。投资人、关键的政治和社团领导人，尤其是身处阿尔伯达以外的，对油砂的关注度还不够，导致阿尔伯达资源商会（ACR）于1993年成立了国家油砂突击队（NOSTF）。1995年5月，该突击队的报告提出，到2025年油砂的产量将增至目前的3倍，虽然令人激动和振奋，但这需要210亿~250亿美元的投资以获得巨大的社会和经济效益。该报告还强调了要实现产量目标必须克服的困难，并任命了几个工作组。财务工作组设计了一个一般的使用费方案，1995年末，Premier Ralph Klein 政府采纳了该方案。1996年，联邦政府春季预算中包括了合作收入税建议。设计了财务管理制度以降低投资大型油砂项目的先期财务风险，从而保证原始投资有不错的回报。

实际的结果显示,收益远远超过了 NOSTF 最初的预测。不到 10 年间,油砂产量达到 1995 年的 3 倍(报告中的预测是在 30 年内增长 3 倍)。到 2010 年,产量达到 1995 年的 4 倍。1996 年 6 月,总理 Jean Chretien 和自然资源部部长 Anne McLeish 和阿尔伯达能源局局长 Pat Black 同多个油砂业的 CEO 们签署了《机会宣言》。当时提出的油砂项目投资总额大约为 60 亿美元。目前的总投资约为 1400 亿美元。

新技术引领行业

1990 年以前,整个东北阿尔伯达地区都在用热综合法(处于沥青萃取和分级处理之间)开发地表油砂。Syncrude 本打算只作业 25 年,在开采了 1 亿桶原油后就关闭。但新技术再一次拯救了这个行业。它要在遥远的矿坑开采并萃取沥青,并将其运输到 Mildred Lake 处进行分级处理。这样就可以获得最高级别的沥青租约,挖掘高品质矿石并保持成本最低(沥青供应成本最低,对环境的影响也最小)。同时,我们避免拆除已有的 Mildred Lake 分级处理厂和中央处理装置以及在新址上重建所需的大笔投资。该理念在 2000 年得以全面实施,具体体现在比较偏远的卫星矿 Aurora 和 Mildred Lake 以北 35 千米处的萃取作业的实施。结果是可想而知的,Syncrude 没有在 2003 年关门大吉,反而产出了超过 22×10^{12} bbl 高品质低硫合成原油,而且设计日产量从 20×10^4 bbl 增至 35×10^4 bbl,储量巨大,以目前的开采速率开采还能再采 60 年(据预测,Syncrude 矿权区的可采储量为 120×10^8)。

我推崇用该实例来说明不懈地研发,或者以终为始是多么重要。在我就职于 Syncrude 的几年后公司的一次年度研发讨论会上,4 位研究人员提出一个复杂方案,以达到从热综合独立大项目转向中央作业的目的。达到这个目标需要开发多种支持技术和技术平台,包括水力运输和冷水萃取的关键技术。水力运输技术降低了开采每桶沥青所需的能源达 40%,在很大程度上妨碍了热综合萃取和分级处理。卫星矿的开发还导致世界最大拖运卡车(运载能力达 400t)、水力铲车、电铲车、三轮给料机和混合装置的诞生。开发出的最终技术平台叫作 Natural Froth Lubricity (NFL),在阿尔伯达省以外研发机构的支持下,考虑到了沥青浮渣(即含有沥青、水、黏土、砂甚至岩石等的混合物)的管道长途泵送,从而在偏远矿区节省了泡沫清洁、稀释剂装置以及其他支持服务的支出。在近 10 年间,技术平台的研发和测试令人眼花缭乱,在 2000 年 Syncrude 的 Aurora 开工时期达到顶峰。

就地开采技术一直处于革新中并被大规模应用,在它的引领下开发出了 SAGD 工艺。AOSTRA(阿尔伯达油砂层开采技术研究管理局)同其合伙人投资并在地下测试设施(Underground Test Facility)进行了大规模作业。帝国石油的 Roger Butler 博士也是该技术的先驱之一,他设计出了将 Esso 冷湖项目的周期注蒸汽激产工艺同常规石油行业用的水平井技术结合在一起。在 1975—1999 年间,AOSTRA 投资了约 20 亿美元(行业和政府各占一半)在 CSS 和 SAGD 工艺的研发上。这是个平衡资本来源的最佳实例,更是如何平衡多个组织的典范。

目前 APSTRA 经重新改造成为一个独立的省级公司(也称为阿尔伯达创新—能源和环境解决方案),被授权解决油砂以及相关的所有能源和环境挑战问题。这样,阿尔伯达能够继续在它的智库和各种公司以及行业间保持平衡,因为它也同时承担着挑战和机遇。

这本油砂手册为行业的前行之路打下了坚实基础

很简单，是技术引领油砂业有了今天的成就，技术还将引领油砂业的未来。《阿萨巴斯卡油砂矿中沥青开采原理及实践》一书明确了目前油砂业的科学和技术状态。然而，在开发过程中还有许多创新和突破，而且有可能很重要，是未来油砂科学家和开发者思想的萌芽。

本书包括两卷。第一卷是对关键技术的综合描述，而第二卷则涵盖了油砂规划和生产的所有重要方面，是行业最佳实践的综合论述。这两卷都承认了技术突破不仅出现在研究性实验室内和实验工厂内，而且还来源于现场作业人员。

历史证明油砂的开发是如何通过建立技术平台取得进步的。本书是当今技术理论和基础的综合性书籍。它旨在成为一部随技术和作业进步以及时间一起有待于更新完善和讨论的活文件，期望能给教授、学生、研究人员、工程师和技术作业人员以启迪。它给人们提供了技术基础，该基础是未来油砂资源可持续发展的跳板。我们加拿大人应该意识到油砂这种全球战略性资源巨大的社会和经济效益的重要性，以及好点子和创新的重要性。

我们应该感谢本书的主要著作人和其他贡献人。这是一项具有纪念意义的事业，将有重要的应用价值和影响。

Dr. Eric P. Newell, O. C. , AOE, FCAE, P. Eng

常用缩写词

AAS: 原子吸收分光光度计
AOSP: 阿萨巴斯卡油砂矿设计
APCI: 大气压化学电离作用
APPI: 大气压光电离
bbl: 桶
CCC: 临界凝结浓度
CEC: 阳离子交换能力
CHP: 热电一体化
CHWE: Clark 热水萃取法
CMC: 临界胶束形成浓度
CNAC: 临界纳米级聚集体浓度
CNRL: 加拿大自然资源有限公司
CO₂e: 二氧化碳当量
CT: 合并残渣或复合残渣
DRU: 稀释剂回收装置
DSPW: 掺有添加剂的模拟生产用水
ERCB: 能源保护董事会
ESI: 电喷射电离作用
FCF: 絮凝—凝结—絮凝
FFT: 流动细尾料
FGD: 烟气脱硫
FIMS: 电场电离
FTFC: 细尾料基金会
FTIR: 傅立叶转换红外光谱法
GCOS: 大加拿大油砂矿
GPC: 凝胶渗透色谱法
HHV: 高散热值
HLB: 亲水亲脂平衡
HRTEM: 高分辨率透射电子显微镜法
IFN: 补偿恢复内流需求
IFT: 界面张力
IPS: 倾斜板安放器
LCA: 寿命周期分析

LDMS: 激光解吸
LHES: 实验室氢转移萃取系统
MIBC: 甲基异丁基甲醇
MFT: 到期尾料
MS: 质谱分析法
NEB: 国家能源董事会
OHWE: OSLO 热水萃取
OSA: 油砂区
PSC: 初级分离装置
PSD: 微粒尺寸分布
PSV: 主分离器
PZC: 零电荷点
SAGD: 蒸汽辅助重力泄油
SARA: 饱和烃、沥青质、胶质、芳香烃
SCO: 合成原油
SFR: 砂/细砂比
SG: 比重
SPW: 模拟处理水
SRF: 过滤法比电阻系数
STP: 标准温度和压力
TAN: 总酸值
TDS: 总溶解固体
TRFD: 时间分辨荧光去极化
TT: 增厚尾料
TTW: 油罐—轮组
VDU: 真空蒸馏装置
VPO: 真空压力渗透压测定法
WTT: 井—油罐
WTW: 井—车轮

目 录

第 1 章 阿萨巴斯卡油砂矿介绍	(1)
1.1 地质	(2)
1.1.1 油砂的来源	(2)
1.1.2 阿萨巴斯卡 Wabiskaw - McMurray 组沉积	(4)
1.2 阿尔伯达天然沥青资源	(5)
1.2.1 油砂矿的特征	(5)
1.2.2 开采方法	(6)
1.2.3 天然沥青储量：定义及其数值	(7)
1.2.4 油砂开发区的天然沥青及合成原油	(10)
1.3 阿萨巴斯卡油砂矿沥青开采的历史背景	(14)
1.4 油砂矿开采动力	(17)
1.4.1 天然气	(17)
1.4.2 能源需求	(17)
1.4.3 原油和天然气价格	(17)
1.4.4 市场和管道	(17)
1.4.5 环保问题	(17)
1.4.6 技术革新	(18)
1.4.7 地理问题	(18)
1.4.8 资金和劳动力成本	(18)
1.5 沥青的萃取和分级处理方案	(18)
1.5.1 萃取	(18)
1.5.2 精炼	(20)
1.5.3 硫及二氧化硫的生产	(22)
1.5.4 温室气体排放 (GHGs) 和能源强度	(24)
1.5.5 水资源的利用	(29)
参考文献	(34)
第 2 章 技术背景	(37)
2.1 表面和胶体学	(37)
2.2 表面张力和界面张力	(38)
2.2.1 简介	(38)
2.2.2 Young - Laplace 方程	(39)
2.2.3 过热、过冷和奥斯特瓦尔德成熟	(40)
2.2.4 三相接触和接触角	(41)

2.2.5	扩散	(42)
2.3	表面张力和界面张力的测定	(44)
2.3.1	毛细管上升(高度)法	(44)
2.3.2	最大泡点压力法	(45)
2.3.3	白金板法	(46)
2.3.4	白金环法	(46)
2.3.5	液滴外形法	(46)
2.3.6	旋滴(或旋泡)法	(47)
2.3.7	滴重(滴体积)法	(47)
2.3.8	微量吸液管法	(47)
2.4	接触角的测定方法	(48)
2.4.1	平面上的测定	(48)
2.4.2	粉末上的测定	(48)
2.5	吸附作用	(49)
2.5.1	吸附作用的热力学	(49)
2.5.2	吸附等温线	(52)
2.6	电表面现象	(54)
2.6.1	表面电荷的来源	(54)
2.6.2	双电荷层	(56)
2.6.3	双电层结构的原理	(57)
2.6.4	动电现象	(59)
2.6.5	ζ 电势	(61)
2.7	表面力	(62)
2.7.1	范德华力	(63)
2.7.2	双电层重叠力	(66)
2.7.3	有关胶体稳定性的 DLVO 理论	(67)
2.8	非 DLVO 相互作用	(71)
2.8.1	空间排斥作用	(71)
2.8.2	聚合物架桥	(72)
2.8.3	水合作用	(72)
2.8.4	疏水作用力	(72)
2.9	絮凝动力学	(73)
2.9.1	稳定比	(73)
2.9.2	快速凝聚理论	(73)
2.9.3	缓慢凝结	(76)
2.10	表面活性剂	(77)
2.10.1	普通表面活性剂类型	(78)
2.10.2	亲水亲油平衡值(HLB)范围	(79)

2.10.3 胶束及临界胶束浓度 (CMC)	(80)
2.10.4 增溶作用	(83)
2.10.5 乳化作用	(83)
2.10.6 去垢能力与浮选	(84)
2.11 物理常数和基本国际标准单位	(85)
参考文献	(87)
第3章 应用于油砂矿开采中的流体粒子动力学	(89)
3.1 多相流及其应用	(89)
3.2 刚性球形颗粒的牵引阻力	(89)
3.3 气泡和液滴	(94)
3.4 理想体系: 同类多颗粒系统	(98)
3.5 理想体系: 含不同种类的多颗粒系统	(107)
3.6 非理想体系: 同类多颗粒系统	(108)
3.7 非理想体系: 含有不同种类颗粒的多颗粒系统	(110)
3.8 重力分离器的模拟	(110)
3.8.1 双分散悬浮分离的模拟	(110)
3.8.2 模型的验证	(112)
3.9 斜板沉降器 (IPS)	(114)
3.9.1 斜板沉降器内重颗粒的沉降	(114)
3.9.2 斜板沉降器内的颗粒分离	(116)
3.10 小结	(117)
参考文献	(117)
第4章 油砂的物理和化学性质	(121)
4.1 油砂的组成: 沥青、矿物固体和无机离子	(123)
4.1.1 沥青等级的分布	(123)
4.1.2 矿物固体	(123)
4.1.3 油砂中的电解质	(135)
4.2 沥青的密度	(144)
4.3 沥青的动力黏度	(147)
4.4 沥青的折射率	(153)
4.5 比热	(154)
4.6 燃烧热	(159)
4.7 热导率	(160)
4.8 沥青的化学性质	(161)
4.8.1 元素成分	(162)
4.8.2 可溶性和吸附作用	(163)
4.8.3 化学结构	(166)
4.9 沥青回收的界面性能	(167)