

# 从技术变革展望加拿大油砂产业发展前景

文 钧

(中国科学技术部, 北京 100862)

**摘 要:** 加拿大是全球油砂储量最大的国家, 油砂产业是加拿大能源领域发展最快而且是最具有发展前景的产业之一。近几年, 随着世界能源市场需求不断提高和油价不断攀升, 加拿大油砂产业高速发展。真正促进其不断发展的动力和源泉, 是油砂技术的不断变革和创新, 它构建了这一产业发展的必要条件和基础。从油砂技术变革和技术创新角度, 可以展望加拿大油砂产业和技术的发展前景。通过对加拿大油砂产业技术发展的研究、分析和总结, 得出结论是: 在 market 需求的刺激和政府政策扶植下, 在充足投资资金的保证下, 以及在以往技术积累和发展的基础之上, 未来油砂技术必将会有一个创新性突破, 油砂产业发展前景非常乐观。

**关键词:** 加拿大; 油砂产业; 油砂技术; 技术变革和创新

**中图分类号:** F471.162      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.06.002

油砂产业是加拿大能源领域发展最快而且最具发展前景的产业之一。近几年, 随着世界能源市场需求不断提高和石油价格不断攀升, 加拿大油砂产业高速发展, 已成为推动经济发展的重要引擎之一。在油砂产业发展进程中, 随着人们对油砂的不断了解和 market 需求的不断增长, 这一产业正在吸引越来越多的资金投入。但事实上, 真正赋予油砂产业不断发展的主要动力是油砂生产技术的不断变革和创新, 它构成了油砂产业发展的必要条件和基础。因此, 抛开市场、需求和投资等因素, 我们尝试从历史上油砂技术变革, 以及今天油砂技术的创新, 分析和展望加拿大油砂生产技术和产业的发展前景。

## 1 加拿大油砂产业发展进程

### 1.1 油砂产业概况

近年来, 随着开采技术的突破, 加拿大油砂作为“非常规油气资源”被大规模开发, 使加拿大成为新崛起的世界能源大国。据 2012 年 3 月美国能

源信息管理局 (EIA) 统计, 加拿大已探明石油储量 1 752 亿桶, 占全球储量 11.91%, 仅次于沙特阿拉伯和委内瑞拉, 居世界第 3 位。加拿大 97% 的石油是从油砂提炼出来的, 阿尔伯塔省已探明油砂储量超过 1 700 亿桶, 占世界油砂储量的 85%, 成为世界最大的油砂储藏地和产地。值得一提的是, 以现有的技术和开采量, 已探明的阿尔伯塔省油砂资源可供开采 395 年, 而据估算, 阿尔伯塔省油砂面积 14.1 万 km<sup>2</sup>, 其中探明的 1 700 亿桶油砂储量, 只占油砂总储量的 20%。

由于受油价持续攀高和 market 需求不断扩大的刺激, 近几年, 油砂勘探开发量持续增长, 预计加拿大未来 10 年将吸引 1 800 亿美元资金投入油砂产业, 产量将从 2011 年日产 160 万桶, 上升到 2015 年日产 370 万桶。

### 1.2 技术变革伴随油砂产业发展

从油砂的发现到油砂产业的发展, 无不伴随着技术革新和新技术的应用, 因此可以说, 新技术、新工艺催生和推动了油砂产业的发展。

**作者简介:** 文钧 (1962—), 男, 在职研究生学历, 主要研究方向为国际科技合作与管理、国际合作心理学应用。

**收稿日期:** 2013-03-15

(1) 1875 年加拿大地质调查局组织考察队对 Athabasca 地区的油砂资源进行考察。植物学家兼队长约翰·马库恩 (John Macoun) 对漂浮在泉水上沥青的记录, 启发了日后人们用水分离油砂中沥青和沙子的方法。7 年之后, 加拿大地质调查局组织由罗伯特贝尔 (Robert Bell) 博士率领的第二支考察队再次来到这里, 经过分析研究, 科学家们一致认为, 油砂的成分和潜在的利用价值证实其是一种储量丰富的重要石油资源。1883 年, 加拿大地质调查局霍夫曼 (G. C. Hoffman) 第 1 次成功地用热水分离出了油砂中的沥青和沙子。<sup>[1]</sup>

(2) 经过近 40 年的研究之后, 1913 年, 加拿大地质调查局矿产部西德尼·艾尔斯 (Sidney Ells) 向加拿大政府提出了一份完整的考察报告, 系统报道了阿尔伯达省地区油砂的分布和分离技术。之后, 在他的努力下, 阿尔伯达省科学与工业研究委员会成立, 其主要任务之一就是油砂研究。由于西德尼·艾尔斯对油砂研究和发展的杰出贡献, 他被誉为加拿大油砂之父。<sup>[1]</sup>

(3) 1925 年, 阿尔伯达省研究委员会卡尔·克拉克 (Karl Clark) 博士在 Athabasca 建立了一座油砂分离工厂, 并研究出被证明是当时最为先进的油砂萃取技术: 将热水和油砂混合后加入苛性钠, 这样会使泥浆分成上中下三层, 上层漂浮的沥青泡沫, 下层为沉底的沙子, 中间是水。1928 年, 克拉克获得该技术专利权。之后, 油砂萃取方法一直是一种最可行的油砂提炼技术。1949 年, 加拿大利用这种技术进行工厂化生产, 达到日处理油砂 450 t 的能力。<sup>[1]</sup>

(4) 1947 年, 阿尔伯达省境内的 Leduc 发现储量巨大的常规石油资源, 日后又相继在整个加拿大西部发现许多大油田, 吸引了大量跨国石油公司的注意力和投资, 于是, 大批资深的石油从业人员汇聚到加拿大西部。由于常规原油的开采成本比油砂要低许多, 技术上也更成熟, 至此, 油砂开发受到影响。

经过 20 世纪 60、70 年代的广泛研究和实验, Imperial 公司率先开发出一套热力驱油方法——“循环蒸汽驱油” (Cyclic Steam Stimulation, CSS), 主要原理是往油砂层注入高温蒸汽, 加热附近的沥青使之易于流动, 然后集中抽到地面。1985 年,

该公司将这一技术运用在 Cold Lake 项目中, 开发埋藏深度在 400 m 的油砂。Cold Lake 项目目前产量达到 12.5 万桶/日。

(5) 进入 20 世纪 90 年代, 由于油砂开采、运输、分离和提炼技术的一系列重大创新, 从油砂中生产原油的成本已经大幅度下降。80 年代初, 从油砂中生产一桶原油的总成本需要 35 加元以上, 到 90 年代末, 这一成本已急剧下降到了 15~18 加元。1996 年, 由于技术进步降低了油砂生产成本, 加上政府税收优惠政策的刺激, 投资者共投入了 330 亿加元继续推进油砂生产和技术改进工作。到 1998 年末, 阿尔伯塔省油砂提炼出的原油产量已经超过 24 亿桶, 是加拿大最大常规油田 Pembina 产量的两倍。尽管如此, 这些已开发油砂的产量只占全部油砂资源的 0.1%, 油砂产业潜力巨大, 前景非常广阔。

## 2 技术突破与创新促进油砂产业跨越发展

### 2.1 “低压蒸汽辅助重力驱油” (SAGD) 技术是油砂产业的技术突破与创新

Imperial 公司科学家罗杰·巴特勒 (Roger Butler) 发明的“低压蒸汽辅助重力驱油” (Steam Assisted Gravity Drainage, SAGD) 技术堪称油砂领域最具创新和突破的技术。今天, SAGD 已成为开发埋藏深度在 400 m 以下油砂的主流技术。20 世纪 60 年代, 巴特勒开始研究油砂, 一直在寻找能彻底颠覆传统地下油砂开采技术的新方法, 他从以前盐碱矿的开采经验中得到启示, 提出了蒸汽辅助重力驱油的概念: 在地下挖两条平行井, 其中一口井负责注入高温蒸汽, 另一口井负责回收被蒸汽高温所软化的油砂沥青。1969 年, 他为该技术申请专利。1975 年他被 Imperial 公司调往卡尔加里主持重油研究工作时, 获得将技术付诸实践的机会。1978 年, Imperial 公司在 Cold Lake 地区 HWP 1 的实验, 证明了 SAGD 的可行性, 采用两条水平井的产量达到预期的 140 桶/日。之后, 经过 20 多年的不断完善和创新, 2002 年, EnCana 公司第 1 次在 Foster Creek 将 SAGD 用于商业开采, 随后 Petro-Canada 在 Mackay 也改用了该项技术。

目前, 世界上最大的 SAGD 项目是在 Long Lake, 由 Nexen 和 OPTI 公司共同开发的 SAGD

综合开发项目。今天,数亿桶由于埋藏过深而无法开采的油砂沥青因为 SAGD 技术的应用而变成了可开采的现实,这项技术为加拿大和阿尔伯塔省带来了巨大商机。SAGD 技术的广泛应用,使 2004 年加拿大油砂产量突破 100 万桶/日,预计在未来十几年中,将会有超过 1 000 亿加元的投资用于油砂项目建设,到 2020 年,加拿大油砂产量将达到 320 万桶/日,阿尔伯塔省将成为世界最热门的油砂产地<sup>[2]</sup>。

## 2.2 油砂产业新技术层出不穷

今天,加拿大政府管理部门、企业和研究机构清醒地认识到,为提高油砂生产效率,降低成本,应对越来越严峻的环保问题,必须寻求扩大投资,促进新技术开发来解决问题。技术不仅仅帮助油砂产业提高产量,降低成本,而最重要的是能够以经济、环境和社会可持续的方式更好地体现能源资源的潜力,造福于社会。

目前,虽然无法找到解决油砂生产中所有问题的灵丹妙药,但许多引领前沿的新技术正在层出不穷地出现,不断促进油砂产业稳步成长。

### 2.2.1 降低油砂生产成本提高生产效率的技术

(1) 溶剂循环蒸汽辅助重力泄油。2011 年,全球首个溶剂循环蒸汽辅助重力泄油试点项目成功竣工,意味着碳酸盐岩中的大量沥青储量能够使加拿大非常规石油生产潜力翻番。据统计,仅加拿大格罗斯芒特岩层(Grosmont Formation)的沥青储量就超过 4 000 亿桶石油。

(2) 替代性采剥法。在正常的蒸汽辅助重力泄油运营中,对缺乏含注入蒸汽的良好帽岩的储层进行测试,表明加拿大萨斯喀彻温省等地区的开发前景广阔,冰碛物等替代性地质特征表明含足够的热能能够有效地引流沥青,这是一个能够解封其他重大储量的渐进过程。

### 2.2.2 降低能耗、节能减排的技术

(1) EM。通过储层电磁刺激法生产沥青对于蒸汽辅助重力泄油而言过浅,但对于采矿而言又过深。目前,壳牌在和平河(Peace River)项目中曾试行的 EM 技术再次出现。在适当条件下,该技术还可考虑作为沥青引流甚至部分萃取的潜在独立流程,而且该过程无需水和燃气辅助。

(2) 原地萃取。通过燃烧萃取部分沥青,不仅

在地下留下多余的副产品,而且还能够捕获碳释,有可能将产生蒸汽的用水和燃气消费降低达 80%,同时,将回收率提高 50%。

(3) 热电联产。由于对蒸汽辅助重力泄油的依赖日益增加,部分企业已经采取新的办法,在燃烧天然气的同时生产蒸汽和电力。继而将电力注入电网,用以抵销油砂生产者的能源需求。

(4) 液体辅助加压蒸汽分离(LASER)。该技术进一步推进了用于原地萃取的蒸汽循环激励生产法(CSS)技术,具备将生产每桶石油产生的温室气体排放减少 25% 以上的潜力。

(5) 地下水平井注气溶剂萃取(VAPEX)。通过使用溶剂来减少产生沥青流体所需的热量和蒸汽,有助于减少原地萃取所需的用水并降低温室气体排放。

(6) 水平段注空气(Toe-to-Heel Air Injection, THAI)。该技术原地开采程序需要借助地下燃烧产生沥青流体,相比常规的低压蒸汽辅助重力泄油或蒸汽循环激励生产法技术用水量更少,同时也减少了温室气体的排放。

### 2.2.3 油砂生产中的环境保护新技术和措施

尾料整合。2012 年,通过更妥善地管理成熟细尾料(Mature Fine Tailings, MFT)缩短尾料池复垦周期,完成了“步骤变革”,循环水循环加快,经过创新使矿山运营尾料池显著变小、变少,总体上用水更少。油砂尾料联营集团(Oil Sands Tailings Consortium, OSTC)由致力于更迅速地制定和部署尾料解决方案的多家专业企业组成,其在这一领域积累了丰富的经验,取得了长足发展<sup>[3]</sup>。

## 3 技术创新决定油砂产业发展未来

政策稳定、技术进步和持续增加油砂资源开发能力,最大程度减少环境影响是保证未来油砂产业高速健康发展的基础。其中研究与开发、技术与创新是确保油砂产业可持续发展的战略重点。

### 3.1 油砂产业发展的瓶颈

2006 年,加拿大能源委员会峰会上提出将加拿大建设成为“能源超级大国”,此时,油砂行业处于乐观的上升阶段:油砂行业资本投资热潮汹涌,低压蒸汽辅助重力驱油(SAGD)和水平段注空气(THAI)等先进技术证明行之有效并广泛应



用，非政府环境保护组织尚未组织推动蔓延全球的抗议运动。这一时期全社会主要关注点在于是否在加拿大卡尔加里市建立世界重油商品市场，尚未开始关注迫在眉睫的环境影响问题。2011年起，形势发生变化，政府、公众、企业和环保主义者开始重新审视油砂这一资源，其高能耗、高成本，及对环境影响的三大主要问题，使其备受争议。至此，油砂产业的发展不得不更多地考虑到广泛的公共利益，受到更加严苛的审查，面临环境保护更高标准的挑战，产业发展的现实和前景异常严峻。

虽然油砂产业在节能减排、降低能耗和成本、环境保护三大问题上竭尽全力，在技术上也取得诸多进步，但不可否认的是所有努力并没有根本解决制约油砂产业发展的三大主要问题，这些问题依然是制约行业发展的主要瓶颈和障碍<sup>[4]</sup>。

### 3.2 技术创新和突破是油砂产业发展的出路

(1) 从全球能源资源储备和消耗来看发展油砂产业势在必行

现代社会发展和人类生存不可缺少能源资源，石油、天然气等是重要的能源资源。现代文明社会，如果没有能源，一切现代物质文明将消失。当今，世界各国正面临着经济发展与能源紧缺的双重压力，而随着工业化迅速发展、人口增长和人民生活水平的提高，能源短缺已成为世界性问题。

根据2012年《BP世界能源统计年鉴》统计，截至2011年底，全球石油储量约为1.653万亿桶，若按现在全球每天非常保守的0.8亿桶消耗速度计算，全球石油储量可供消费54年。虽然围绕着石油储量和可用多少年的问题，科学家有不同的争论和观点，但不可否认的是，随着人类社会不断进步与发展，石油资源正在不断走向枯竭，非常规能源和新能源已经进入人们的视野。因此，未来油砂产业必将会得到人们的高度重视，市场需求将驱动油砂新技术的快速发展，并会涌现出突破性的技术创新。

(2) 加拿大政府利用政策杠杆扶持油砂产业技术发展

近几年，加拿大政府不断努力，进行充分准备和创造条件，力争成为北美战略技术发展的重要基地。2011年5月，加拿大阿尔伯塔省政府发布了《省长经济战略委员会报告》，报告预测30年后世

界经济、技术格局将发生巨变，强烈呼吁在阿尔伯塔省建立“全球能源中心”，协助发挥阿尔伯塔省能源资源的全部潜力，从而使不可再生能源资产产出的资金能够投入到新兴技术、产品和服务中。简言之，加拿大政府认识到，由于油砂行业目前在加拿大经济发展中属于前沿性中心行业，是加拿大经济的主要推动因素，其油砂领域的技术发展是实现这一目标的首要手段，也即，推动和掌握油砂的相关技术就能对能源和能源相关的长期社会政策产生重要影响。因此，为培育更大的技术创新，从加拿大联邦到各省政府都在仔细考虑设计税收激励政策和各项计划来促进科学研究和开发的大力发展，同时出台各项强有力的措施，推动油砂行业环保技术的发展。

为促进油砂产业发展，摆脱“脏油”的恶名，加拿大联邦政府可持续发展技术基金（SDTC）已经投资支持油砂尾料加工技术的研究，而政府也承诺投资15亿美元发展碳捕获和碳封存（CCS）技术；阿尔伯达省已承诺投入20亿美元发展碳捕获和碳封存技术；加拿大政府2007年成立的清洁技术基金，从无法达到二氧化碳减排标准的大型工业排放企业获取收益，来支持油砂环保技术的发展。

在政府各项政策的推动下，加拿大极大地促进了油砂技术的发展和<sup>[5]</sup>创新。

(3) 全球资金的涌入为油砂技术突破及创新创造条件

2012年7月，中国海洋石油有限公司宣布以151亿美元收购加拿大第六大石油公司尼克森（Nexon）公司。尼克森在加拿大阿尔伯塔省拥有规模庞大的油砂项目，其在该项目投资累计达60亿美元。中海油的这起收购，成为中国企业迄今为止金额最大的海外收购项目。

据统计，截至2012年中期，以中国三大石油公司为主的各类型中国公司，共向加拿大能源资源领域投资250亿美元。而在2007年末，中国在加拿大的投资总额只有10.3亿美元。

从整体上看，2011年，中国在加拿大的能源投资只占外国累计投资总额的1.8%。事实上，加拿大油砂已经吸引了全球众多能源公司的目光，许多大公司将油砂开发列为公司发展的重心。据普华永道2012年春季发布的《2011年全球矿业交易回

顾及 2012 年展望》显示：2011 年，全球矿业交易中，美国、澳大利亚和加拿大占据了主导地位，约占全球收购总值的 53%。所有矿业收购交易中，有 30% 的交易涉及加拿大，比任何一个国家都多。<sup>[6]</sup>

对加拿大能源投资的巨量增长，刺激了油砂产业和油砂技术的发展，同时也为油砂技术发展和创新提供了充足资金支持和保证。因此，目前，在阿尔伯塔省的阿尔伯塔大学、卡尔加里大学和省能源部的各个实验室中，可以看到这样的情景：各种技术创新在不同的实验室中争分夺秒地进行着，各大能源公司都在使出浑身解数来努力提高油砂的生产效率、降低成本并尽可能地减少油砂生产对环境的影响和破坏。

综上所述，虽然油砂产业在节能减排、降低能耗和成本、环境保护等方面面临发展的瓶颈，但未来在市场需求的强烈刺激下，以及加拿大政府政策扶植下，加拿大油砂技术发展将会取得决定性和创新性突破。■

#### 参考文献：

- [1] Syncrude Canada Ltd. Unlocking the Potential of the Oil Sands—Oil Sands History[EB/OL]. [2013-01-26]. <http://www.syncrude.ca/users/folder.asp?FolderID=5657>.
- [2] 中宏数据库. 加快投资加拿大油砂的必要性与建议[DB/OL]. (2010-11-17)[2013-02-13]. [http://221.212.156.208:8006/Include/ShowNews.asp?text\\_id=n0283139000005000015](http://221.212.156.208:8006/Include/ShowNews.asp?text_id=n0283139000005000015).
- [3] 德勤华永会计师事务所有限公司 (Deloitte & Touche). 2012 年油砂行业发展之路[R/OL]. [2013-02-20]. [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-China/Local%20Assets/Documents/Industries/Energy%20and%20resources/cn\(zh-cn\)\\_er\\_GainingGround2012\\_270312.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-China/Local%20Assets/Documents/Industries/Energy%20and%20resources/cn(zh-cn)_er_GainingGround2012_270312.pdf).
- [4] 覃泽文. 技术进步推动油砂产业蓬勃发展[N/OL]. 中国能源报, 2010-12-13 (11) [2013-01-25]. [http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2010-12/13/content\\_696996.htm](http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2010-12/13/content_696996.htm).
- [5] CAPP. Oil Sands[OL]. <http://www.capp.ca/canadaindustry/oilsands/pages/default.aspx>.
- [6] 金焱. 加拿大：能源投资新沃土[J]. 财经, 2012(25): 98-102.

## Impact of Technology Innovation on Future Prospects of Oil Sands Development in Canada

WEN Jun

(The Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

**Abstract:** Canada has the third largest oil sands reserves in the world and the largest reservers in North America. With current increasing energy demand and consequent rising oil price, Canada is poised to meet this mandate and primed to accommodate significant growth in sustainable oil sands production. Through a shared commitment in policy and financial investment between government and industry, technological innovation has been a driving force in procuring this industry development. This technology has provided the foundation and necessary conditions for the advancement of this fast growing industry. This paper views the prospect of oil sands development in Canada from the perspective of the technology innovation. Based on the author's research and analysis, it can be concluded that market demand stimulus, government policy support, along with private enterprises' investment in technology, will guarantee future accelerated growth and development in sustainable global energy production from the Canadian oil sands industry.

**Key words:** Canada; oil sands industry; oil sands technology; technological change and innovation