

第四届国际重油及油砂 会议论文选译

(下 册)

中国石油天然气总公司情报研究所
中国石油天然气总公司勘探开发研究院

正文设计：段利君

责任校对：马 林

第四届国际重油及油砂会议论文选译（下册）

开本 787×1092 毫米 1/16·印张 25.75

字数，55 万

印数，2500

油情（单）9001

工本费：7.00 元

编辑： 中国石油天然气总公司情报研究所

中国石油天然气总公司勘探开发研究院

印刷： 北 京 燕 华 营 印 刷 厂

发行： 中国石油天然气总公司情报研究所

邮政编码 100013（北京和平里七区十六号楼）

写在前面

1988年8月7日到12日在联合国训练研究署 (UNITAR) 及计划发展署 (UNDP) 组织下, 由加拿大艾伯塔省政府油砂技术研究局 (A-OSTRA), 加拿大石油公司、委内瑞拉石油总公司及美国能源部共同合作, 在加拿大艾伯塔爱德蒙顿市召开了第四届国际重油及油砂技术会议。中、加、美、委、苏等37个国家的680名代表参加了会议, 其中25个国家的代表在会议上发表了240篇论文。在隆重的开幕式上, 中、加、美、委、苏五国的能源或石油工业界的领导人讲了话。中国石油天然气总公司副总经理李天相同志出席开幕式并讲了话。受中国石油天然气总公司委派, 北京石油勘探开发研究院三名代表在会议上发表了五篇论文。

从会议论文、讲话及讨论情况看到几点重要情况:

1. 在近几年世界油价下降的挑战下, 主要的重质油生产国美、加、委等国仍然坚持发展新技术, 重油产量不断增加或稳定。

加拿大1988年采用打井热采的重油产量水平是638万米³/年, 露天开采合成油能力1450万米³/年, 合计重油产量约2100万米³/年。比1986年增加约200万米³/年。而常规原油产量7200万米³, 已逐渐下降。预计1995年打井注蒸汽开采的重油及沥青产量将增加到1450万米³/年。美国的重油热采项目有所减少, 由1986年的201项降到1988年的152项, 产量由2719万米³/年降到了2643万米³/年。但注蒸汽产量仍占EOR产量3700万米³/年的71%。委内瑞拉重油热采产量仍保持在1300万米³/年的水平。苏联采用注蒸汽、注热水、火烧油层及坑道注热等热采产量约300万米³/年。

目前, 总计世界上 (不包括我国) 采用打井热采的产量约5500万吨/年, 加上露天开采产量共约7000万吨/年。主要是注蒸汽开采。

在油价不利的影响下, 仍坚持发展新技术, 这是因为世界上重油及天然沥青的储量超过轻原油, 生产潜力很大。前几届会议都有报告说, 世界上稠油地质储量超过轻油。此次会议上, UNITAR的M·D·Kingue讲, 据美国地质调查署及其他专家估计, 世界上常规原油的已证实的可采储量是1272亿米³, 而稠油及特稠油已证实的可采储量为795亿米³, 天然沥青可采储量约715亿米³。稠油、特稠油及沥青的可采储量约1510

亿米³，超过了常规原油。

2. 稠油及天然沥青开采新技术发展动向主要有：

- 地下粘度达到10—20厘泊的天然沥青油藏的开采技术主要是蒸汽吞吐方法，采收率达到近20%，加拿大已商业性推广应用，技术上是领先的。

- 加拿大皮斯河天然沥青油田，粘度高达20万厘泊，利用原油层底部薄水层（仅3米）作为传热通道的周期性蒸汽驱技术已经成功，已投产丛式定向井209口，产能58万吨/年，预计采收率可达50%。除此以外，粘度在10万厘泊以上的沥青油藏蒸汽驱尚未成功。

- 采用丛式定向井及丛式斜直井，进行注蒸汽开采稠油及天然沥青的配套技术，包括钻井、耐热水泥完井、防砂、电测、注汽采油等已商业性应用。每口井场约20口井，经济效益较打直井好。仅加拿大ESSO公司在冷湖已打丛式井700口。

- 采用由地面打水平井开采天然沥青油藏的新技术正在兴起。有5篇论文介绍了试验研究新成果。还有5篇文章介绍了加拿大地下水平井试验工程（UTF），实际上它是一个1：1的试验模型，由此更坚定了发展水平井开采沥青油藏的信心。

采用多层充填砂的水平通道方法，形成注采井间的汽驱加热通道，快速加热油层，是很有希望的开采沥青油藏的新方法。

- 先循环注蒸汽后循环火烧开采沥青油藏的崭新工艺正在BP加拿大的狼湖1号油砂试验区试验。在注汽压力高于地层破裂压力下循环注汽，形成裂缝，多次循环注汽使采收率达到15—20%；然后循环火烧，利用已形成的裂缝系统，在低于破裂压力下注纯氧火烧，当火线到达第一口采油井时，关掉此井并转入注水，迫使火线转向第二口井。当火烧井周围各采油井都关掉后，再把各采油井同时打开采油。该方法的加热效率比循环注蒸汽或蒸汽驱高得多，采收率预计可达40%。

- 注蒸汽开采中提高扫油系数仍是广泛注意的关键问题，许多专家致力于蒸汽中加入各种化学剂，气体及溶剂以提高开发效果。

委内瑞拉在波利瓦尔油区蒸气吞吐井试验了16口井蒸汽加泡沫剂，产量提高25%，垂向扫油系数提高0.3左右。蒸汽驱泡沫剂的研究试验正在加强。蒸汽中加入CO₂及碱正在室内试验。蒸汽驱过程中注入乳化液堵汽窜的方法正在加拿大艾伯塔大学试验。委内瑞拉在蒸汽吞吐前或后加入天然气段塞的方法，在某些条件下可以增产。

· 深井注蒸汽的井筒隔热技术已有新发展, 委内瑞拉波斯塔油田的2500米深井已试验2口井采用隔热管蒸汽吞吐获得成功。深井井底蒸汽发生器仍在试验阶段。

· 稠油注蒸汽采油井人工举升技术有新发展。会上有5篇报告。委内瑞拉在稠油注蒸汽吞吐井采用天然气或蒸汽气举方法, 使回采初期下泵之前抢先获得高峰产量很有效果。还有一篇文章介绍了蒸汽吞吐阶段自动控制抽油泵抽干系统, 可省40%的能耗。加拿大 ARC已建立了可进行全比例的井下泵模拟试验装置, 可进行稠油热采抽油井的沉砂、压力作用、温度影响、蒸汽闪蒸、气/汽锁、不同冲程冲数、泵结构等等基础研究, 对改进抽稠技术很有帮助。

· 放射性蒸汽干度计及流量计已在现场试验, 已有新产品问世。可以在蒸汽锅炉出口及注汽井口同时测出蒸汽流量、蒸汽干度、压力、温度等, 并有数据记录及处理系统。

· 不锈钢丝棉防砂技术已在加拿大ARC完成了室内试验, 正在现场试验, 对细粉砂有较好的防砂效果。

· 重油输送技术的重大改进

会议上发表了委内瑞拉采用水包油及油包水乳化液以及水环流输送的新技术。这比采用加热、掺轻油输送方法的耗能少, 成本低。已在74口井的区块试验了水包油乳化液输送技术, 它是加入一种表面活性剂形成, 粘度可降低3—4倍。在油水体积比为70:30时, 压力损失最小。这种乳化液可以直接作为动力燃料, 比较便宜。为稠油就地消费开辟了新途径。

3. 稠油油藏工程研究方法不断发展, 对先导试验工程更加重视, 试验内容更为全面, 油藏生产动态监测技术有新发展。

会议论文指出, 多学科综合研究油藏描述方法是发展的必然趋势。地质师、地球物理工程师、地球化学工程师及石油工程师更紧密地在一起工作, 互相了解各自的观点, 采用系统工程方法解决问题。这将促进出现新方法, 新理论及降低开发费用。

油藏地质研究, 尤其对于非均质油层孔隙介质中的流体流动特征、井间连通性, 沉积相变化, 注蒸汽过程中岩石碎物水化学反应及微粒迁移等继续深入发展。

油藏工程方面的综合研究, 正导致发现新的稠油开采方法。一个成功的实例就是对沥青砂油藏先进行反向火烧建立井间连通后, 接着进行

蒸汽驱的研究成果。

数值模拟技术是油藏工程研究的主要手段。会议上共发表了6篇热采数值模拟论文。新型软件正在向多功能方向发展,考虑地应力的注汽过程中造成疏松砂岩形成裂缝的数值模拟软件,蒸汽驱加泡沫剂等化学添加剂以及水平井注蒸汽数值模拟软件已进入试用阶段。

热采数值模拟软件已成为优化开发设计方案及实施方案过程中跟踪模拟生产动态的必不可少的手段,而且正向微机方向发展。采用专家系统优化稠油从勘探、钻井、采油、集输到加工处理的全过程的工艺设计及进行集中数据处理及管理已成为发展的必然趋势。事实上,如加拿大几个大石油公司已有从油田现场到公司总部的计算机网络系统,对开发动态数据集中处理。

委内瑞拉及加拿大对稠油油藏在热采过程中,尤其在蒸汽吞吐阶段,地层压实作用所产生的采油机理及其不可忽视的增产作用有了系统的研究。对于疏松砂岩在热采过程中的地应力变化已开展了相当有成效的研究。

稠油PVT及注气液相平衡研究很活跃,有4篇论文介绍了研究方法,及加入 CO_2 ,溶剂等后的相态变化。这直接关系到热采多组份数学模型的建立与应用,也是研究开采新方法的基础工作。

会议上多篇论文介绍了开采稠油及沥青砂油藏的各种热采先导试验,尤其是加拿大冷湖沥青砂油区及委内瑞拉奥里诺科重油区进行各种开发试验的经验很值得借鉴。加拿大埃索石油公司在冷湖油区,对原油粘度为10万厘泊的沥青油藏,经过12年各种各样的33项先导试验,得出井网形状、井距大小、打开油层井段、注汽周期、注汽速度、注气量、完井方法、采油工艺等对蒸汽吞吐开采效果的影响,还试验了采用水平井蒸汽驱的开采效果。在积累经验的基础上,1988年商业开发区的产能已达347万米³/年。

委内瑞拉奥里诺科重油区,已控制地质储量215亿米³。原油粘度3500—20000厘泊。按系统工程,对开采方式,钻采工艺技术、油藏工程、沉积相、地球物理、原油输送、改质加工、能源供应、环境保护、土地规划及水电供应等都进行了全面研究及规划。在油区的不同区块进行了各种先导试验,其中重要的有10项。试验结果证明:两个先蒸汽吞吐后进行蒸汽驱的先导试验是成功的;先期裸眼砾石填充完井是最好的防砂方法;蒸汽吞吐是很有效的开采方法;采用丛式定向井及丛式斜

直井开采稠油是经济上技术上更有效的方法；蒸汽驱动态监测技术已取得成功的经验；确定了标准的采油配套系列，成为规划的基础。

蒸汽驱动态监测技术已有新发展，尤以加拿大及委内瑞拉上述两个大油区为最先进。这些方法包括：①采用密度、伽马、高分辨率井温测井、测试吸汽剖面；②井下蒸汽流量计，测吸汽剖面；③采用地面地层微度倾斜仪测蒸汽推进前缘及裂缝方位；④采用地震监测方法测蒸汽带前缘；⑤产出水地化分析，监测加热体积；⑥采用放射性及化学示踪剂监测注入热流体推进方向；⑦温度及压力观测井系统测试；⑧注汽井压力降落试井，测取油层参数及表皮系数；⑨地质力学监测；⑩数值模拟跟踪动态。

注蒸汽动态监测研究的内容较以前更加丰富，包括：①单井中温度剖面、吸汽剖面及油饱和度变化；②油层温度场变化及加热带前缘推进动态；③裂缝的产生及方位；④油层中流度变化；⑤地应力变化；⑥地层隆起或压实的变化；⑦注采井，水平井的井况；⑧产出液化学组份及物性变化；⑨产量动态。

4. 基础性科学研究是提出稠油开采新方法、提高开发效果、认识油藏的先导。

为不断发展开发稠油的新方法，各国都很重视基础研究工作。例如水平井注蒸汽开采沥青砂油藏的方法，就是以物理模拟为依据。提出主要靠重力驱动的概念，然后加以试验的。而且发现采用上下2口平行的水平井。上部注汽比下部注汽能获得更高的采收率的规律。这次会议上发表的论文中有相当大的比重是介绍各国基础研究的成果。

加拿大艾伯塔油砂技术研究局的大学研究企业参加的基础研究计划有重大意义。主要内容有：注蒸汽热采条件下的多孔介质中的渗流机理、传热及传质研究；孔隙介质中高温流体与岩石的交互作用；石英砂在热采中的溶解问题；注蒸汽过程中地层压裂的数学模拟；火烧油层条件下的油砂表面及界面化学；热采过程中胶质及沥青的热变化；高灵敏度地层倾角仪测定长期的地面升降信号及其评价；电磁加热开采油砂的新方法；流度控制研究；蒸汽吞吐过程中产出气的研究；油砂地质力学及热力学特性研究；矿物纤维防砂可行性研究等等。

总之，这届国际性稠油技术会议内容广泛，反映了近几年稠油勘探、开发、输送、加工利用、管理等各方面的技术发展水平及动向。

我国目前的稠油油田开发已进入新的发展时期，过去八年集中试验

研究并推广应用了蒸汽吞吐开采技术,以1982年为起点,逐年热采量迅速增加,1988年已达到520万吨的水平,预计1989年达到650万吨左右。全国已开辟不同类型稠油油藏的9个蒸汽驱先导试验区,预计在最近两、三年内逐步转入蒸汽驱试验,但严峻的挑战是,紧接着将有许多目前正在蒸汽吞吐开采的油藏区块在最近三、四年内结束蒸汽吞吐转入蒸汽驱开采,而稠油蒸汽驱技术正在技术攻关阶段,有许多技术还不完善,不配套。例如,对非均质性严重的稠油油藏,薄层及多层交互油藏,有底边水的油藏,巨厚油藏等不同类型的油藏的油藏地质、油藏工程的精细研究,特稠油及天然沥青油藏的热采技术,蒸汽吞吐技术的改进,蒸汽驱动态监测技术,提高蒸汽驱体积扫油系数的调控技术,细粉砂防砂技术,丛式井开采稠油的配套技术,深度超过2000米的井筒隔热技术,油层孔隙介质中高温水化学及微粒迁移等基础研究,多功能热采数值模拟新软件、水驱后期中质及稠油油藏热采提高采收率方法等等,都需要加快研究及试验。

为了借鉴国外的先进技术经验,加快我国稠油油田的勘探,开发、输送及改质加工技术的发展,中国石油天然气总公司领导同志亲自选择了第四届国际稠油技术会议论文集集中的58篇文章,由总公司情报所和研究院共同组织翻译出版,供大家参考。

这篇论文选译共分上、下两册。虽经编译者共同努力,尽快完成了编译工作,但由于目前还缺乏石油专业名词的统一标准,以及编译者的水平限制,可能有许多翻译不准确之处及错误,欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

竖井与巷道

- PAPER № 126 艾伯塔油砂技术研究局研究采矿法采油技术
的地下试验设施..... 司艳姣译 (1)
- PAPER №112 艾伯塔省油砂技术研究局采矿法地下注蒸汽试验
的地质工程技术测试方法.....蔡建华译 (14)
- PAPER №133 用乳化液堵底水层的实验及数值模拟研究.....王国清译 (32)
- PAPER №50 层内燃烧机理述评朱恩灵译 (52)

地层伤害

- PAPER №107 用沥青油砂处理水改善岩心孔隙度.....陈祖明译 (63)
- PAPER №153 注碱性蒸汽对地层岩石和支撑剂物性的影响.....康德泉译 (77)
- PAPER №119 重油油藏中的微粒迁移.....刘尚奇译 (94)
- PAPER №27 运用诺模图技术预测石膏和硬石膏的结垢趋势王效华译 (107)

钻井与完井

- PAPER №195 用斜井钻井技术开发委内瑞拉浅油藏.....杨金华译 (117)
- PAPER №228 意大利海上Rospo Mare油田: 用水平井进行
工业性开发的技术与经济前景.....刘长生译 (125)
- PAPER №63 AOSTRA地下热采先导性试验中存在的腐蚀
问题和取得的经验.....李海平译 (132)
- PAPER №6 重油和油砂热采中的合金材料选用问题.....宋福印译 (146)
- PAPER №175 疏松砂岩重油油藏中的最优化注水泥和砾石填充方法...王同良译 (163)
- PAPER №206 一口水平井的独特完井实践.....张祖兴译 (176)
- PAPER №56 绕丝筛管防砂机理金静芷译 (184)

人工举升工艺与设备

- PAPER №185 循环注蒸汽法与气举法在特重原油开采中的结合
运用显著缩短了修井时间.....钱兴坤译 (204)
- PAPER №19\ West Urdaneta重油油田气举井诊断经验.....宋文宁译 (211)
- PAPER №53 关于开采重油时循环使用高浓度TDS产出水
的处理工艺选择张 晓译 (220)
- PAPER №39 关于注入蒸汽的分配、调控和计量系统的研究论文.....孔宪利
刘慧卿 译 (236)
- PAPER №174 改进的重油和特重油脱水技术.....韩耀平译 (242)

监测及其它

- PAPER №110 重油和沥青油砂的地震波速度是油藏开发
动态监测的基础.....祁少云译 (253)
- PAPER №94 热力驱油动态的地震特征吕学谦译 (270)
- PAPER №17 艾伯塔省阿萨巴斯卡Daphne租地的地面物探观测.....任 俞译 (283)

PAPER No186	蒸汽驱前沿的监测与控制·····	陈益鹏译 (294)
PAPER No12	油田流体的地球化学监测·····	姚 军译 (302)
PAPER No72	利用产出水的化学性质解释油藏动态 ·····	李国坤译 (318)
PAPER No197	重质原油的输送·····	沈定成译 (327)
PAPER No179	用于开采、处理及输送特重原油和沥青的乳化技术·····	胡文杰译 (339)
PAPER No222	管输沥青乳状液TRANSOIL 工艺的现场试验·····	黄兆武译 (352)
PAPER No182	重油生产中的水处理·····	虞绍永译 (362)
PAPER No158	适用于艾伯塔重油和沥青的通用粘度关系式·····	滕学顺译 (374)
PAPER No194	核心——环状流: 输送粘性烃类的最经济方法·····	黄兆武译 (392)

30 秒说明

对于粘度极高的超稠油或天然沥青，尤其在油层较复杂的条件下，采用常规注蒸汽方法，包括蒸汽吞吐，蒸汽驱等，开采效果都不理想。为此，加拿大艾伯塔油砂技术研究局（AOSTRA）倡导并组织资助了几项采用水平井注蒸汽开采的新技术试验项目，其中有各种钻水平井的方法，如本文所述通过直径为3米的竖井，在油层底部以下的底板层打坑道，从坑道中向上钻入油层的水平井沿油层水平方向扩展，而且是成对的，生产井靠近油层底部，注入井在生产井上方约5米处。当注入井注汽时，加热的原油靠重力作用流入生产井，由地下集油系统泵至地面。此方法耗资多，现在的发展趋势是采用由地面钻水平井的方法，而且采用多层水平井并在水平井中堵砂的方法很有前途。

艾伯塔油砂技术研究局研究采矿法 采油技术的地下试验设施

J. A. Haston et. al.
The Alberta Oil Sands Technology and
Research Authority. et. al.

司艳姣 译
胡乃人 校

一、引言

在阿萨巴斯卡油砂层中已经进行了许多项层内先导性试验，对许多采油方法，其中包括蒸汽吞吐、蒸汽驱、加添加剂蒸汽驱、火烧油层和电加热方法等，进行了试验。但至今尚没有一种方法证明可以作为一种基本的工业性开采方法使用，从露天采矿法无法开采的大量储量中采出石油。

地下试验设施（UTF）项目位于加拿大艾伯塔省McMurray堡北边，是由艾伯塔油砂技术研究局（AOSTRA）发起建设的，其目的是研究从阿萨巴斯卡油砂层采油的新方法。该项目现在已进入试验阶段，它通过自油砂层下面的巷道系统在油砂层中钻水平井进行热力采油。获得的初步结果十分鼓舞人心。该项目作业者AOSTRA坚信，UTF将对开采技术作出重大贡献。

本文介绍整个UTF项目的进展情况，以及采矿工程和钻井工程的某些特点。关于工艺的先导试验及有关的地质和岩土技术方案的详细讨论，参见这次会议上宣读的其它论文^[1-4]。

二、背 景

一个多世纪以来,石油工业一直对采矿法重力泄油感兴趣,最早的采矿法泄油试验是在上一世纪60年代开始在俄亥俄州和加利福尼亚州进行的。本世纪20年代,这种方法在法国和德国的石油生产中起了积极作用,重新引起美国对它的兴趣,并在一些地区进行试验作业达20年之久,直到大约1945年。在那一段时间里,Leo Ranney率先开发美国西部的石油,这些开发试验是加拿大Sarnia的Devran石油公司一次有意义的现场试验和俄亥俄州及怀俄明州两个先导性试验目前工作的基础。在美国加利福尼亚州和苏联,将采矿法与蒸汽处理结合起来用于开采稠油。苏联在Yarega油田推广应用了这一方法。现在其工业产量每天已超过10000桶。

十多年来,AOSTRA一直积极支持采矿法和水平井采油技术的发展。它与工业集团一起初步研究了以采矿法为辅的层内采油技术(MAISP),调查研究了如何将苏联的采矿法热采经验用于更复杂的阿萨巴斯卡油砂层^[5]。当工业集团开始进行首次小规模MAISP地面试验的时候^[6],AOSTRA转向研究一个更大规模的验证性试验项目。但是,无论是MAISP的地面试验,还是AOSTRA/工业集团另一项目的研究,均未引起工业界对该项技术的地下试验的极大兴趣。AOSTRA坚持认为,对该项技术的某些良好前景只有通过全面的地下试验才能作出评价,并于1983年初主动做了一个先导性试验的详细设计,试验地点是在Crown租区,正好是常规露天采矿技术无法开采的地方。

到1984年5月,完成了初步勘探钻井工作,设计了采矿法采油设施,并为其建设招标作了说明。当时AOSTRA希望工业界参加实施它所提出的方案。人们对此表现出极大的兴趣,但工业界没有作出承诺。经过反复考虑后,认为这项技术是需要的,应当进行全面的地下试验。AOSTRA决定自己筹措建造采矿法采油设施的资金。经过8年的研究之后,采矿法采油技术即将作为AOSTRA地下试验设施(UTF)项目,开始进行全面的现场试验。

三、UTF项目设计

整个UTF项目的设想是试验和发展两种独立的、但又互相补充的技术:即包括采矿工程和地下钻井的竖井和巷道工程(SATAC)技术;水平井层内采油技术。

采矿工程和钻井的目的决定了项目设施的初始设计。采矿工程必须通过在地层内建造竖井和巷道为进行地下作业提供安全通道。在这方面没有多少或完全没有基本经验可供借鉴。而钻井则必须发展新的和先进的技术,以便能往巷道上方的油砂层中钻进并完成高压热采井。在本文后面几节将对这些内容及解决方法作更全面的叙述。

开采方法的研究提出,蒸汽辅助重力泄油法是优先进行现场试验的一种方法,并特别强调有三个参数对开采方法的适用性和先导性试验设计具有特别重要的意义^[1]。这三个参数是UTF项目实施地层的升温速度、水平生产井中的固体颗粒控制和水平井眼中的水力学。已经肯定,用预先导性试验规模的作业,这相当于为试验新钻井技术而钻的短井眼,就应能够有效地初步确定这些参数的范围。因此,制定了一个规模约为先导性试验规模十分之一的称为A期方案的预先导性试验方案,对这些关键参数作初步研究,以便为项目的可行性提供更多的保证,并进一步确认全面先导性试验的设计基础。

项目实施地点位于加拿大艾伯塔省McMurray堡西北约60公里处、面积为20000公顷的AOSTRA租区（如图1所示），刚好不在通常确认的可以露天开采的油砂层范围之列。由于该租区的特性是，上覆岩层太深，不能露天开采，但又太浅而不适合用常规的层内技术开采，所以它适合用竖井和巷道工程（SATAC）和水平井技术开采。租区东边仅500公顷内的探明储量就足够供先导性试验和第一个工业性作业区开采许多年。

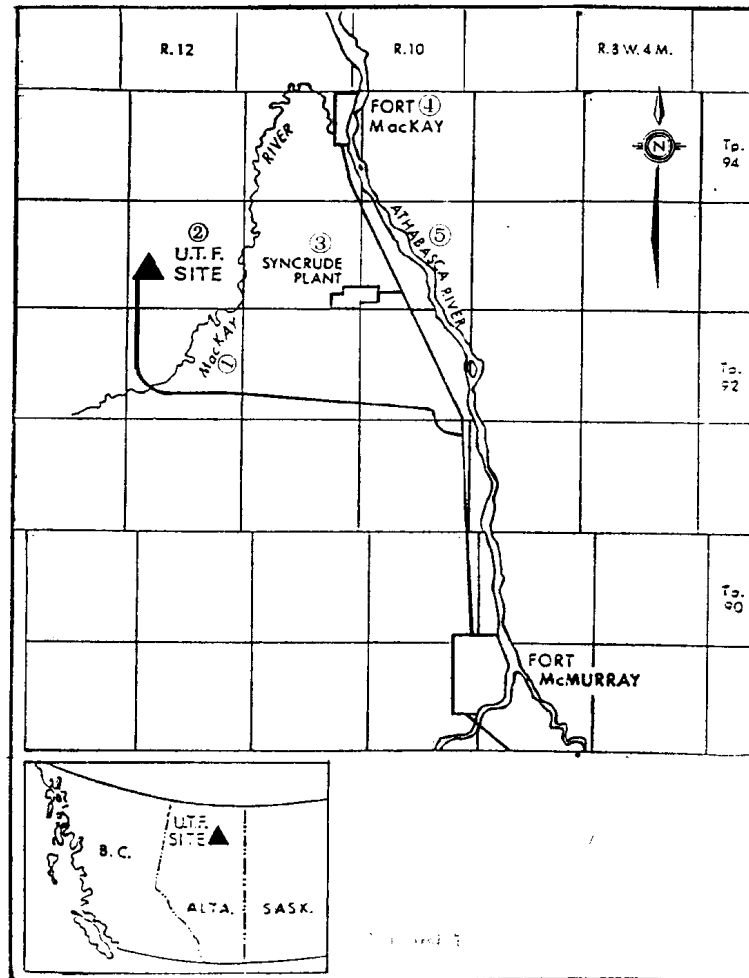


图1 地下试验设施现场位置图

- ①MacKAY河；②地下试验设施现场；③人造油工厂；④MacKAY堡；
⑤阿萨巴斯卡河；⑥不列颠哥伦比亚省；⑦艾伯塔省；⑧萨斯喀彻温省。

A期方案的设施简图如图2所示，采矿通道包括两口直径为3米、深为213米的垂直竖井，然后从这两口竖井开始在油砂层下面的泥盆系石灰岩层中挖一条高4米、宽5米、长930米的巷道。在1号竖井中安装提升人、矿物和设备的主提升机，它能一次提升12个人或4吨材料，最大提升速度为6米/秒。2号竖井中安装有一套缓慢移动的通用提升机，仅用于作紧急出口。两口竖井中均装有管线，1号竖井中装有压缩空气和消防用水管线，而2号竖井中则装有较具危险性的蒸汽、生产和钻井管线。

已经研制了一种特定规格的地下钻机，它能从巷道系统中朝上钻至油砂层，然后再在油砂层中水平钻进。A期试验方案共钻和完成三对井，每口井长约160米，最后60米是用试验设计的三种完井方法之一完成的。每对井中各有一口生产井位于油砂层底部附近，另各有一口注入井位于生产井上方约5米处。

蒸汽发生器是一种小型的一次通过设备，以丙烷为燃料，生产干度为80%的蒸汽。溶有高含量固体颗粒的排泄物在地面分离器中消除。另一台分离器在地下，它消除其余的凝析物，以得出精确的蒸汽量读数和在井口获得干蒸汽。

井中产出的流体通过2号竖井输至地面。如有需要，还装有抽油或附加的蒸汽举升设备。产出流体在地面经过冷却，通过一个气体分离器，在两个产品储罐之一中储存。两个产品储罐和废水储罐中的流体从现场运出，送到第三方。产量用质量流量计确定，井口取产出流体样品以确定沥青油含量。

位于管理楼控制室内的监测系统控制台显示出从地下和地面设施中收集到的数据，以确定作业状态。在紧急情况下，该控制台会发出警报或紧急停机。同样，自动空气取样系统在巷道内七处采集空气样品，并将它们输入到控制室内的一台显示装置，以自动分析CO、CO₂、H₂S、O₂和爆炸物质含量。

四、采矿方案的实施

发展油砂层下的采矿系统向采矿工业提出新的挑战^[7]。该方案包括两部分：（1）用垂直竖井到达油砂层下面的坚密层；（2）在该坚密层内建立一套巷道网，以容纳井口区，并为钻井和开采作业确立合适的周围条件。钻竖井时的主要考虑是如何安全地通过油砂层。在大约20年前，该砂层以前曾使其它一些人的努力完全白费。与巷道有关的未知参数包括最佳层位、所需的支架以及气和水侵入巷道的可能性。在UTF项目研究过程中还涉及到了成本以及工艺加热对整个采矿系统完整性的影响。

对地层柱状图所作的研究（图4）进一步证明，最合适的采矿层是在离地面173米，油藏底部以下约15米处。要求的竖井深度超过200米，以便使主要竖井设备，即泵和岩石装载箱能放在巷道以下。下述参数是竖井设计的基础：

一通风量	35米 ³ /秒（最小）
一举升岩石能力	100吨/小时
一提升机规格	2.34米×1.6米
一竖井深度	至巷道为173米 至竖井底部为213米。

勘探岩土技术研究表明，竖井建造既可以采用闭式竖井掘进法，也可以采用常规的竖井冷冻开凿法。用比较评价的方法，来确定用于尺寸和数量不同的竖井配置的最经济有效的系统。该项目决定采用的最佳方案是用闭式竖井钻进技术建造两口直径为3.4米的竖井。

竖井钻井用的是一套改型的常规深井眼钻机^[8]，它是一种由柴油发电机提供动力的自足式钻机。钻机的主要改进之处是大大扩大了井架底座的开口，使之能适应直径为4米的钻头总成和下衬管操作。图5所示为正待开钻的230吨钻头总成。

采矿方案得到的结果比预料的好，尤其是在钻穿油砂层方面。有关膨胀、剥落、气体释放和总的失控等问题还没有发生过，整个方案实施过程中的平均钻速为3.75米/日，而计划的钻速为3.5米/日。2号竖井是首先开钻的，共花了55天，1号竖井减少到47天。

制造出的钢质衬管内径为3.03米，每根长为12米，端面有焊接接头。在将衬管下入后，用高压系统将水泥分五次挤注，使其从衬管底部上返至地面。注水泥时没有出现什么问题，完成一口竖井的注水泥工作需要6天时间。

ZONE ① No.	ROCK TYPE ⑤	⑪ THICKNESS		LITHOLOGY UNIT ⑬	X THK.	COLUMN ⑱	TUNNEL LOCATION ⑳
		X	RANGE ⑫				
MOBERLY MEMBER ②	WATERWAYS FORMATION ④						
	ARGILLACEOUS LIMESTONE ⑥	7.1	3.2-12.7	⑮ ARGILLACEOUS NODULAR MICRITE	7.1		15.2m
	MASSIVE LIMESTONE ⑦	1.2	0.5-1.8	(BIOGENIC) LIMESTONE ⑯	1.2		
	ARGILLACEOUS LIMESTONE ⑧	2.3	1.6-3.3	ARGILLACEOUS NODULAR LIMESTONE ⑰	2.3		
	MASSIVE LIMESTONE	4.8	4.2-5.0	MASSIVE (BIOHERMAL) LIMESTONE ⑰	4.8		
	MASSIVE LIMESTONE	6.2	6.0-8.4	NODULAR LIMESTONE	3.4		
				MASSIVE ARGILLACEOUS MICRITE	1.7		
				NODULAR LIMESTONE	3.4		
				ARGILLACEOUS NODULAR MICRITE	3.7		
	ARGILLACEOUS LIMESTONE	7.4	7.3-7.5	NODULAR LIMESTONE	3.0		
				ARGILLACEOUS NODULAR MICRITE	1.8		
				NODULAR LIMESTONE	0.7		
				ARGILLACEOUS NODULAR MICRITE	1.9		
⑨ LIMESTONE/SHALE	11.9	10.9-12.4	LIMESTONE SHALE	9.2			
			ARGILLACEOUS NODULAR MICRITE	2.7			
				⑩ CALcareous SHALE	10.7		
⑩ CALcareous SHALE	10.7		⑩ CALcareous SHALE	10.7			

0.4m
1.8m
0.4m
1.4m

100 90 20
50 40
% Clay Content ㉑

图4

①层组；②Moberly层；③Christina层；④Waterways组；⑤岩石类型；⑥泥质石灰岩；⑦块状石灰岩；⑧泥质石灰岩；⑨石灰岩/页岩；⑩灰质页岩；⑪厚度；⑫范围；⑬岩性组合；⑭油砂层；⑮泥质粒状云母矿；⑯（生物）石灰岩；⑰块状（生物礁）石灰岩；⑱灰质页岩；⑲柱状图；⑳巷道位置；㉑粘土含量，%。

在注水泥和替出完成之后，对两口竖井进行测量，以确定每口竖井偏离垂直方向的距离。1号竖井偏离中心线的最大距离为316毫米，而2号竖井为206毫米。这些偏差没有造成任何重大困难。

总之，竖井的建造方案在预定期限内完成，并且质量比能接受的质量好。由于这类钻井工作在加拿大西部还是头一次，它为将来进行类似的工作提供了有价值的资料。

地下巷道系统（如图6所示）分两步建成：最初的350米是在竖井底部与竖井同时建成的；以后又将其延伸580米以进入和支持A期方案的钻井作业室。

所选用的巷道掘凿方法是随钻随炸法，这是经过对现有机械化铺路机器作比较研究后选用的。使用结果表明，对于长度小于1600米的巷道，随钻随炸法是项可取的技术。

在实施两项掘凿巷道方案的整个过程中，在工作面之前30米处留有探测孔，以便对可能发生的气体或流体侵入发出警报。在任何时候，都不可能同时遇到气体和流体侵入的情况。

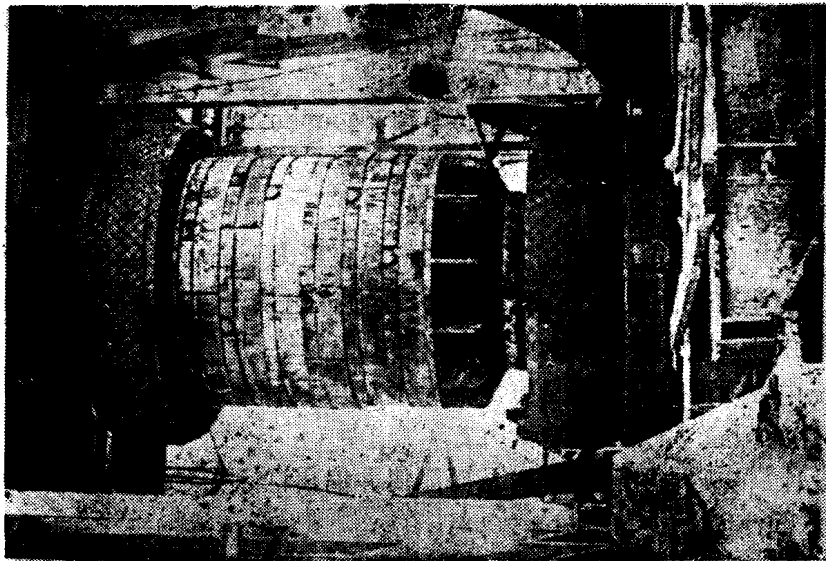


图 5

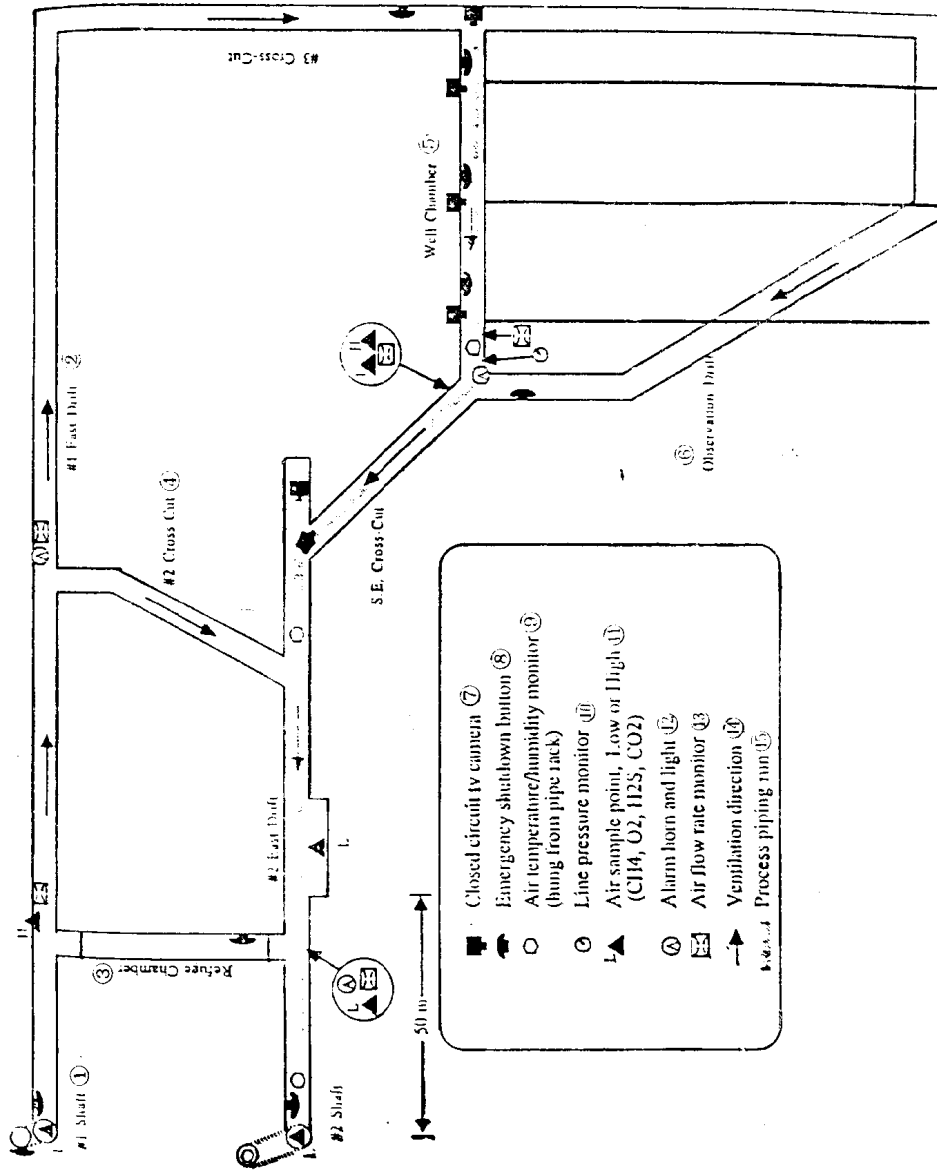


图 6 地下安全系统

①1号竖井；②1号东巷道；③安全室；④2号交叉巷道；⑤钻井作业室；⑥观察巷道；⑦闭路电视屏幕；⑧紧急停机按钮；⑨空气温度/湿度监测器（悬挂在管架上）；⑩管线压力监测器；⑪空气取样点，高或低（ CH_4 , O_2 , H_2S , CO_2 ）；⑫警报器和灯；⑬空气流量监测器；⑭通风方向；⑮开采作业管线。