

DEVELOPMENTS OF THE HEAVY OIL RESEARCHING IN THE LIAO HE OIL FIELD

辽河稠油研究进展

顿铁军 吕建辉 刘谦 纪庆诤 著



(北京)

45

8

西安地图出版社

中国·西安

辽河稠油研究进展

顿铁军 吕建辉 刘 谦 纪庆诤 著

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河稠油研究进展/顿铁军等著. —西安: 西安地图出版社, 2000. 8

(辽河稠油研究进展)

ISBN 7-80545-938-X

I. 辽... II. 顿... III. ①粘性原油-地质勘探-辽河油田②稠油开采-辽河油田 IV. TE355.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 68537 号

辽河稠油研究进展

顿铁军等 著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 124 号 邮编: 710054)

新华书店经销 西安工程学院印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 开本 11 印张 275 千字

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—1000

ISBN 7-80545-938-X/TE·5

定价: 20.00 元

序

辽河油区是一个集多种油品性质、多种储集类型、多套含油层系为一体的复杂断块油田，被业内人士称为“石油地质大观园”。数十年来，已有 24 个油气田陆续投入开发，建成了我国第三号大油田。

辽河稠油资源丰富，与全国其它稠油区相比，稠油产量为全国之冠。在本世纪，由于辽河油田广大职工和科技人员坚持“科学、求实”的态度和“锲而不舍、艰苦奋斗、刻苦攻关、无私奉献”的精神，把自力更生与引进、消化、吸收国外适用的先进技术有机结合起来，迅速追赶世界石油先进科学技术，使稠油、特稠油和高凝油的开采与集输工艺技术获得重大突破，已形成一整套适合辽河地质特点、具有中国特色的稠油勘探开发的地质理论与工艺配套技术。稠油开采技术不但在国内处于领先地位，并已接近或达到国际先进水平，高凝油开采技术更是世界领先。

辽河油田锦州采油厂近年创新的非混相驱开采稠油方法，可使稠油最终采收率比水驱增加 13.4%，这一新技术目前在国内外尚无先例。蒸汽吞吐开采各种稠油油藏技术已得到普遍推广应用。分层注汽技术，更好地发挥了稠油多层非均质的纵向动用程度。在治砂、封窜、调剖、解堵及蒸汽添加剂和微生物采油等工艺技术方面都取得了相当成功的经验。这些新技术的研究与应用使辽河油田稠油连年超产，事实雄辩地说明“科学技术是第一生产力”。

《辽河稠油研究进展》这本书的主编和第一作者顿铁军教授嘱我为之作序。我认为，该书的出版为 20 世纪我国稠油开采树立了一个里程碑。在即将跨入的 21 世纪，稠油研究必将进入一个全新的发展时期。该书对广大科技人员勇攀高峰、再创辉煌，定能起到承前启后、继往开来的作用。我乐意向石油界、地质界人士和其他读者推荐该书，是以为序。

王 战

2000 年 8 月

前 言

辽河油田的勘探与开发已走过 30 多年的光辉历程。此间，在辽河盆地及外围中生界盆地和滩海地区探明了丰富的油气资源，建成了我国第三号大油田。特别是在改革开放以来，辽河稠油资源的开发利用得到了飞速的发展，使稠油产量占全国首位。稠油、特稠油和超稠油的开采与集输工艺不断获得新的突破，现已形成一整套适合辽河油田地质特点、具有自身特色的勘探开发稠油油藏和复杂断块的地质理论和工艺技术系统。辽河的稠油开采技术走在我国前列并已接近或达到国际先进水平，高凝油开采技术已处于世界领先地位。

自 1989 年以来，我校一直与辽河油田合作进行着稠油研究工作。我们深切体会到辽河油田广大职工坚持自力更生、艰苦奋斗、解放思想、勇于拼搏的革命精神，不断攻克生产实践中遇到的重重难关，创新出蒸汽热采、非混相驱、分层注汽、侧钻打水平井和 4D 地震等许多成功经验，为稠油上产作出了卓越贡献。结合我们的研究成果和所收集资料，我们编写了《辽河稠油研究进展》。

该书较为全面系统地总结了辽河油田在稠油开发研究方面取得的新进展及新经验，内容共分八章，约 280 千字。其中，第一章及文中其它有关国外情报资料的翻译由外语教研室主任刘谦副教授编写；第二、三章及其它辽河资料整理分析由吕建辉副研究员编写；情报检索及附录由图书馆原采编室主任纪庆钊馆员编写；其余章节内容由顿铁军教授编写并对全文进行统一审定。在这世纪之交，该书的出版，既是我们对辽河油田广大石油工作者长期付出艰辛劳动的一个总结，又是让人们了解辽河稠油开发历史、启迪来者、交流经验、再创功绩的重要阶梯。

在编写过程中，我们受到了辽河油田有关领导的热情关怀和亲切指导，得到了研究院、锦采、欢喜岭、高升等单位负责人和科技人员的大力支持并提供了大量珍贵资料，西北大学博士生导师王战教授为该书写序，西安地图出版社马京鸣编辑对全书进行了认真的审校，在此一并致谢。

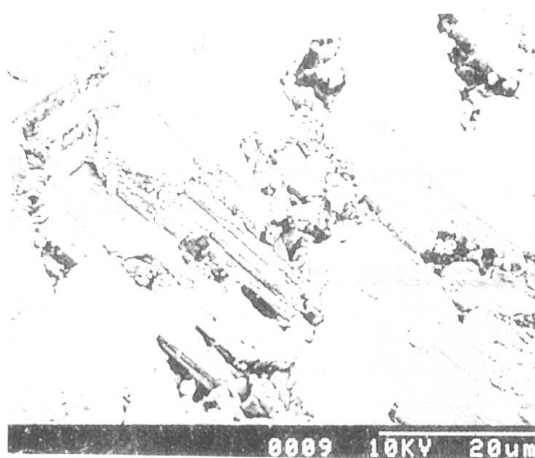
由于作者水平所限，加之时间较紧，疏漏及不妥之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

作 者

电镜照片图版 I



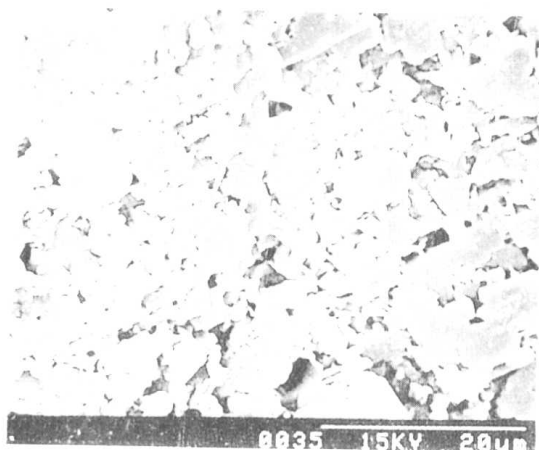
a₁ 石英洗油原样



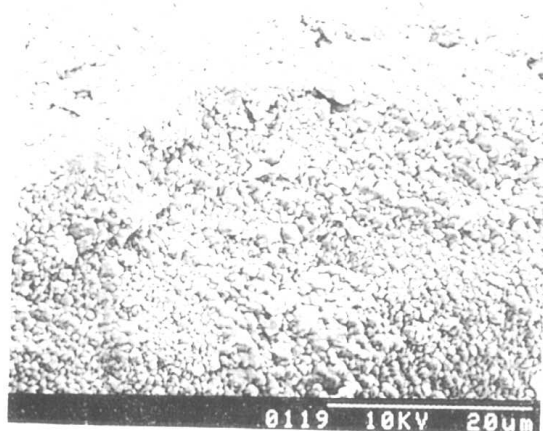
b₁ 长石洗油原料



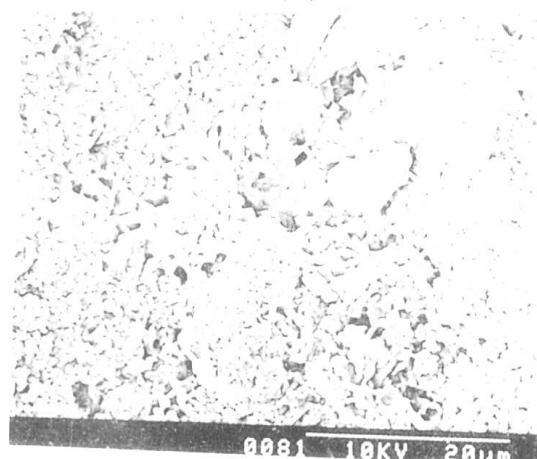
a₂ 在 50℃、PH=13时,石英表面沿裂隙溶蚀形成溶蚀沟及碎裂微粒。



b₂ 在 50℃、PH=11 时长石表面沿节理溶蚀及碎裂微粒

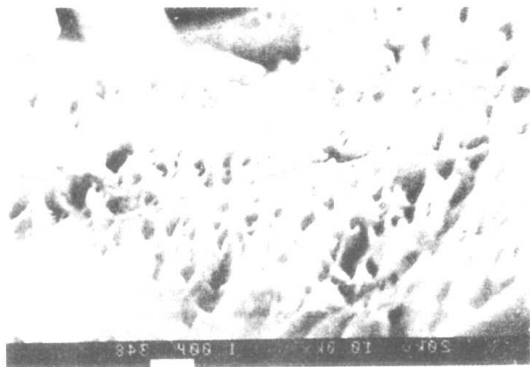


a₃ 在 100℃、PH=13时石英表面溶蚀及破碎微粒

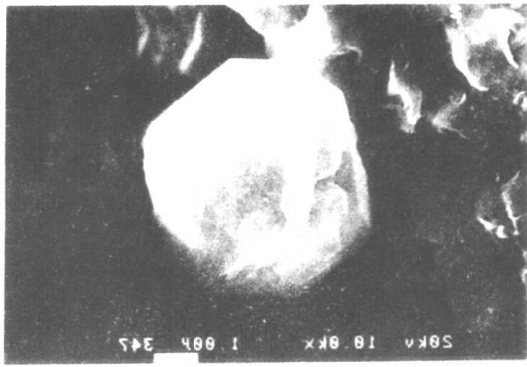


b₃ 在 50℃、PH=13时长石表面溶蚀破碎特征

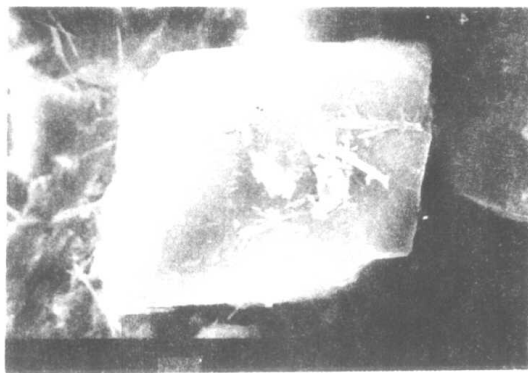
粘土矿物转化电镜照片图版 II



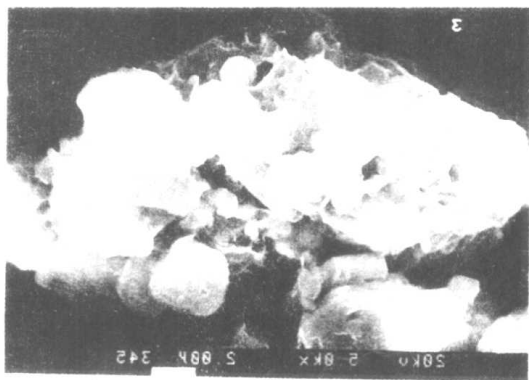
照 1 8C₂₀实验产物方沸石 10000×



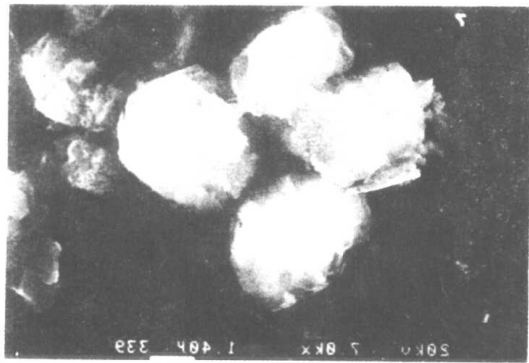
照 2 8C₂₀实验产物蒙脱石 10000×



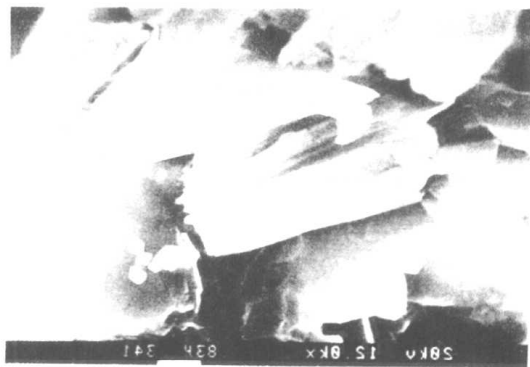
照 3 8C₂₅实验产物蒙脱石、方沸石
5000×



照 4 8C₃₀实验产物方解石 7000×

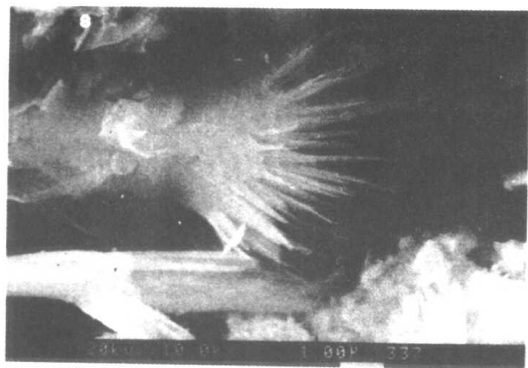


照 5 10C₁₀实验产物高岭石 12000×

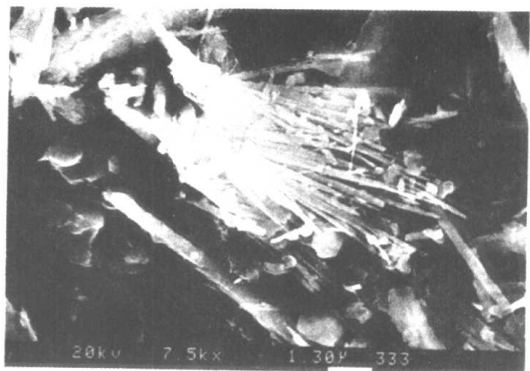


照 7 10C₂₅实验产物方沸石 7000×

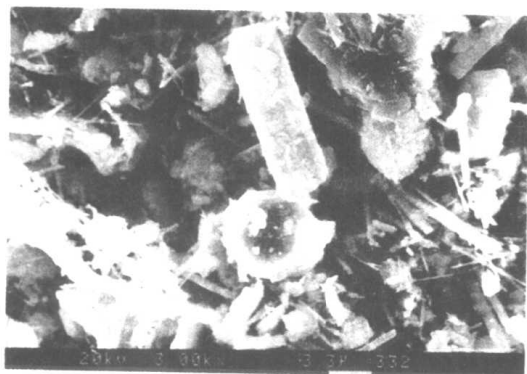
粘土矿物转化电镜照片图版 Ⅲ



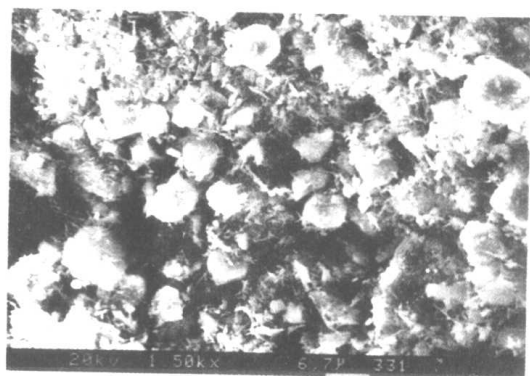
照 8 10C₃₀实验产物伊利石 10000×



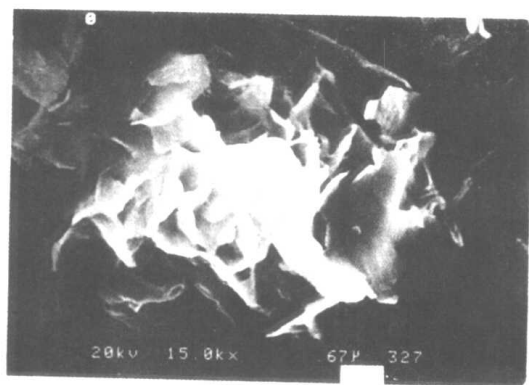
照 10 13C₂₅实验产物伊利石 7500×



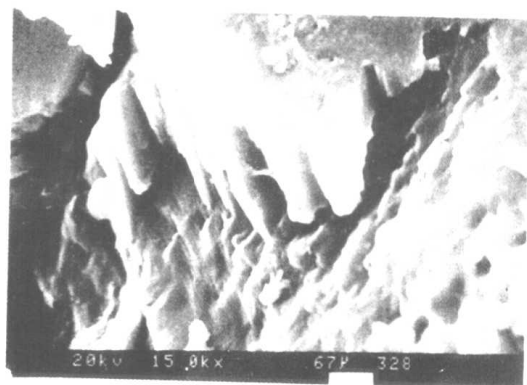
照 11 13C₂₅实验产物方沸石、伊利石、
钙霞石 3000×



照 12 13C₃₀实验产物方沸石、伊利石
1500×

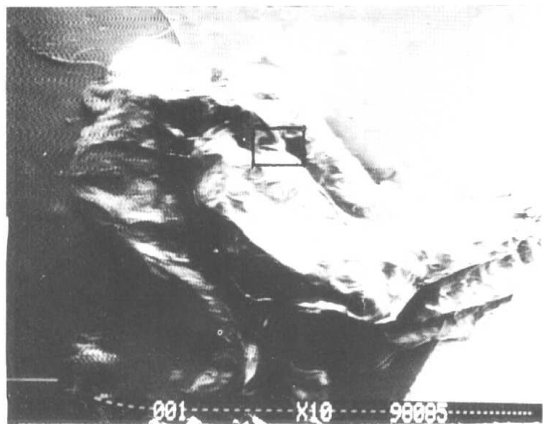


照 0 原始样蒙脱石 15000×

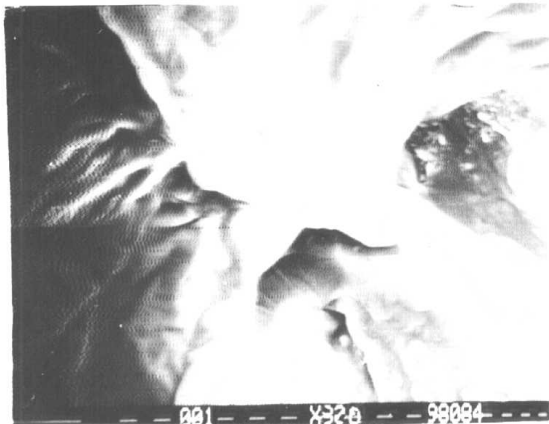


照 0 原始样伊利石、蒙脱石、高岭石
15000×

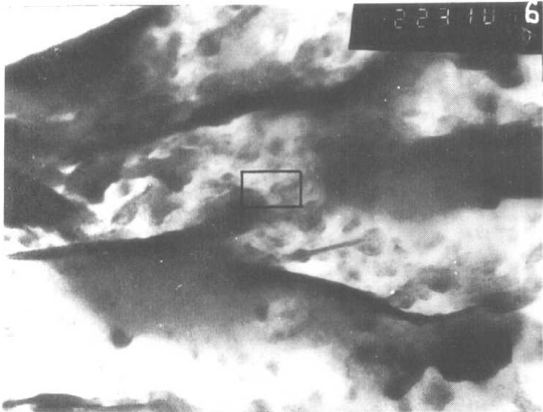
电镜照片图版 IV



照 1 杜 84-65-67 井岩芯样品(802.91m)
实验后溶液中析离的沥青微粒 ×10



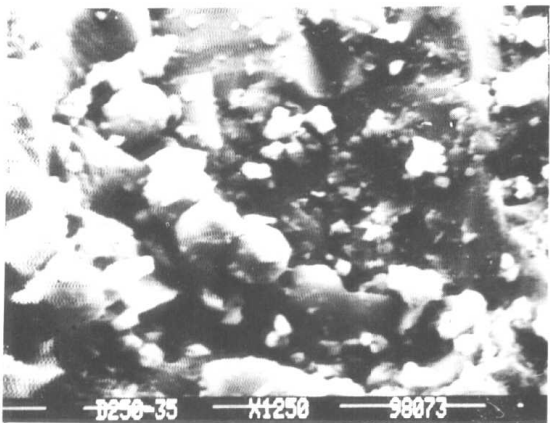
照 2 为照 1 方框处放大 320×
沥青微粒的形貌为被膜状



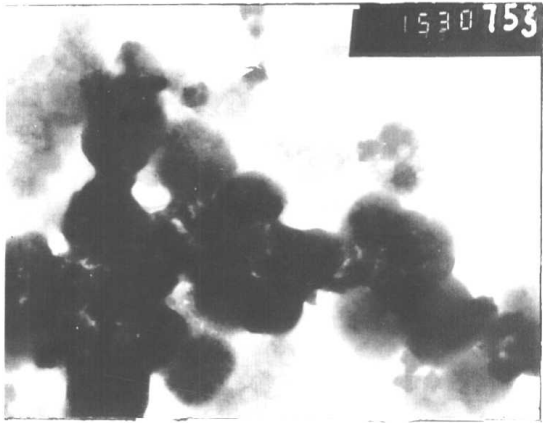
照 6 No. 101(100℃、11.5MPa)22000×
被膜状沥青凝聚



照 9 No. 101(100℃、11.5MPa)44000×
被膜状沥青絮(局部放大)

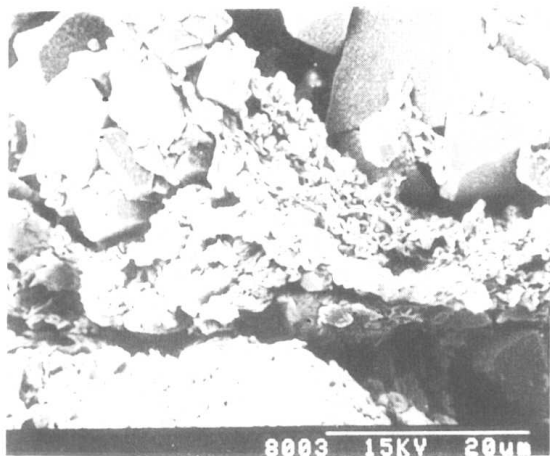


照 25 样品 25035 ×1250
串珠状方沸石(5~10μm)

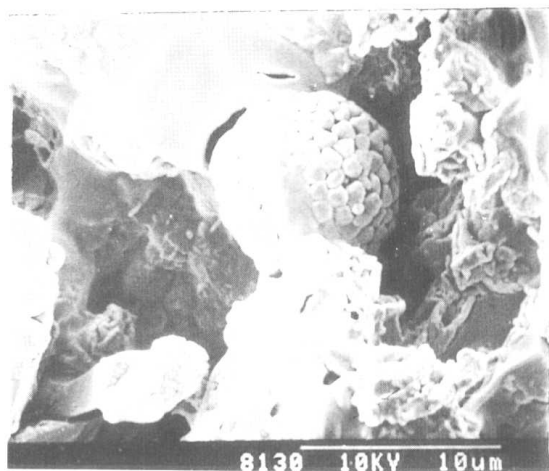


照 753 75 号样(200℃、11.5MPa)
葡萄状方沸石(0.6μm)15000×

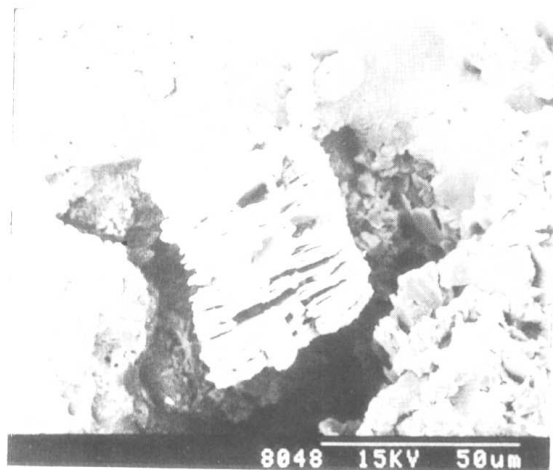
电镜照片图版 V



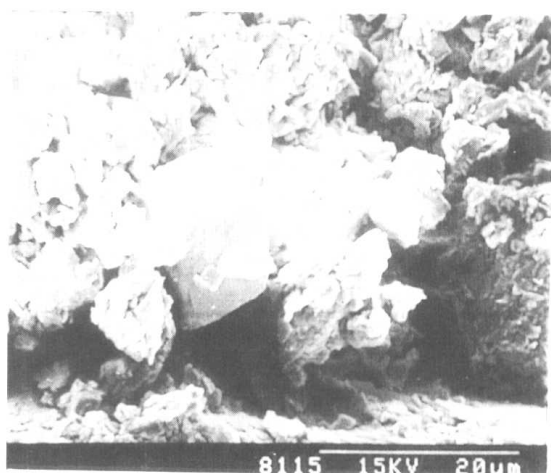
照 8003 No.9(659.21m) 1200×
黄铁矿 + 高岭石 + 伊/蒙混层



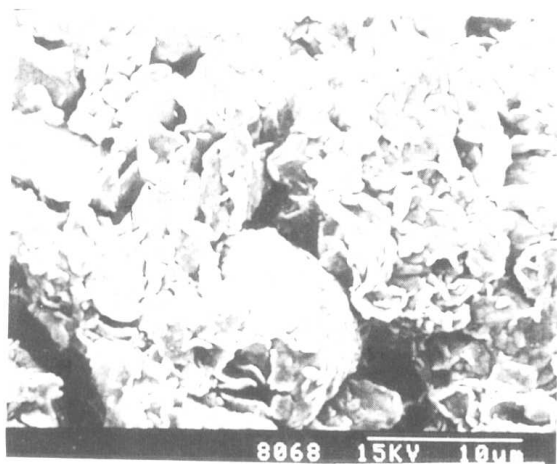
照 8130 No.237(807.48m) 2400×
球粒状黄铁矿



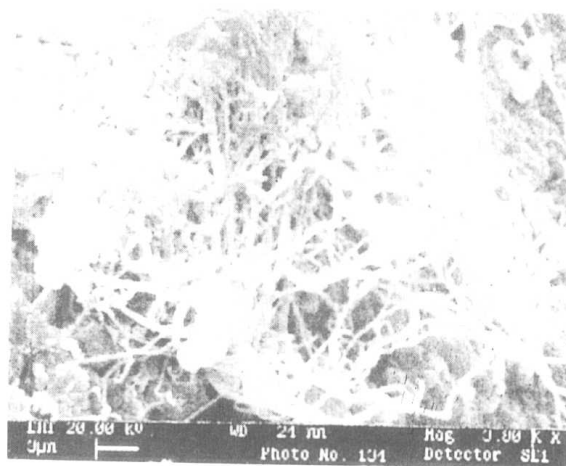
照 8048 No.64(714.73m) 480×
书页状高岭石



照 8115 No.207(791.49m) 1200×
I/S + 碳酸盐晶体

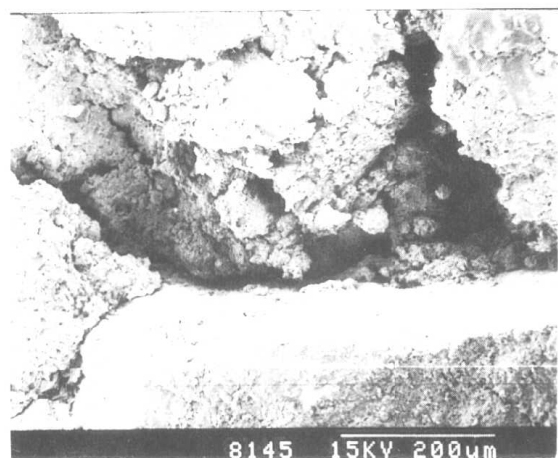


照 8068 No.127(735.90m) 1800×
花瓣状蒙脱石

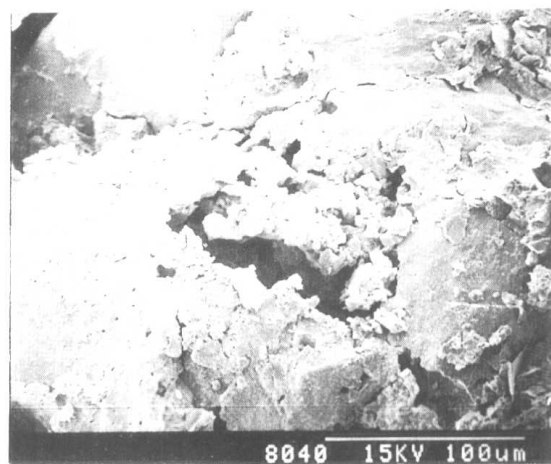


照 5 粒表丝状伊利石 3800×

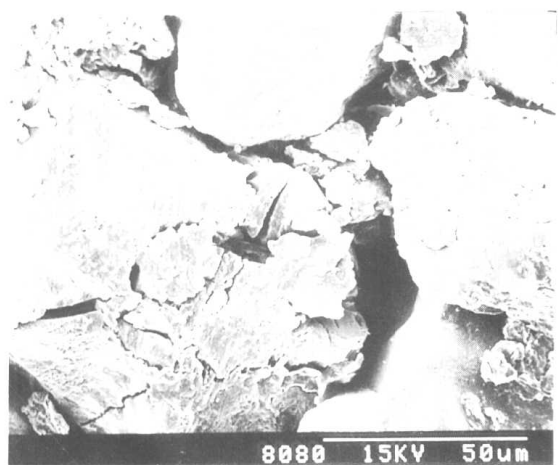
电镜照片图版 VI



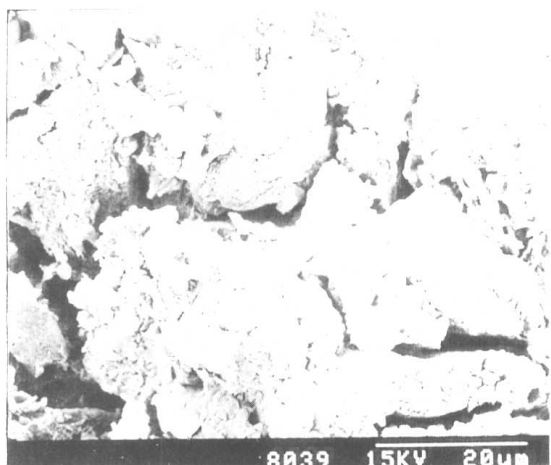
照 8145 No.261(816.05m) 90×
溶蚀孔缝



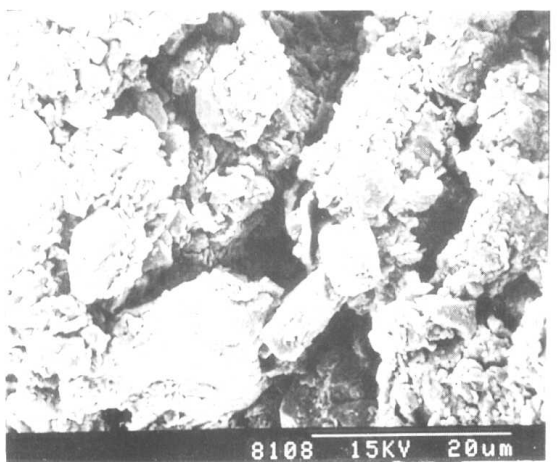
照 8040 No.61(713.75m) 240×
粒内溶孔



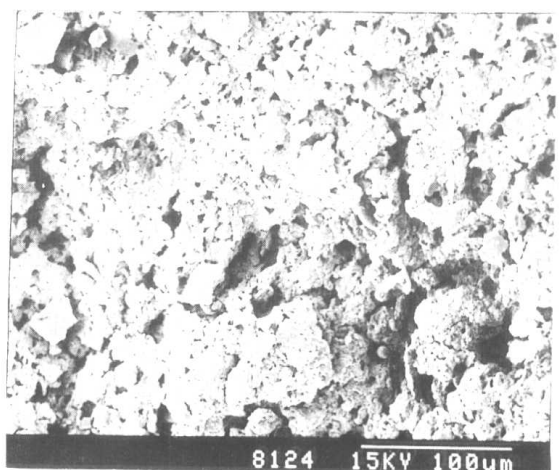
照 8080 No.136(742.20m) 480×
粒间孔与颗粒破碎裂缝



照 8039 No.59(713.22m) 900×
I/S 与粒间缝

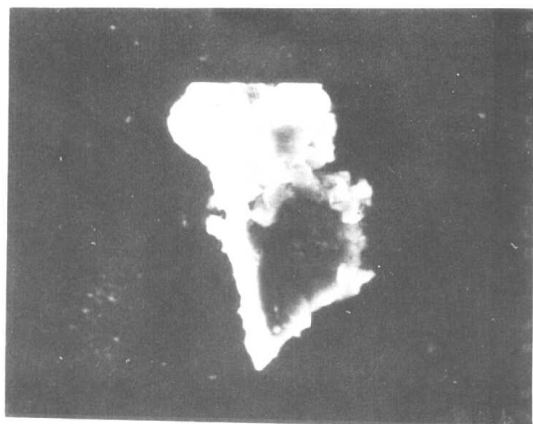


照 8108 No.182(782.05m) 1200×
粒间孔 + 粘土微孔

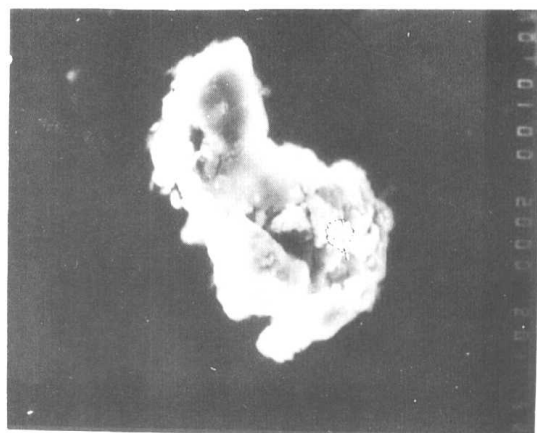


照 8124 No.226(805.28m) 180×
I/S 混层中的溶蚀孔隙

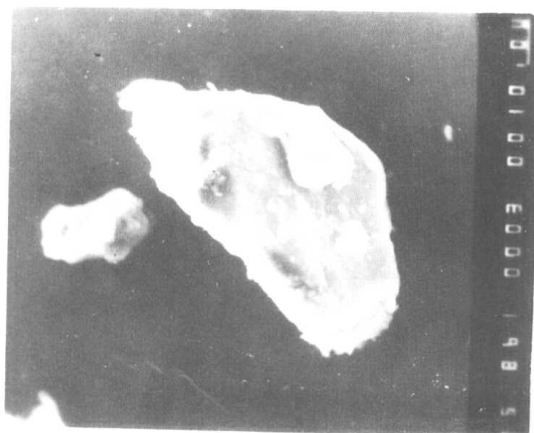
电镜照片图版 VII



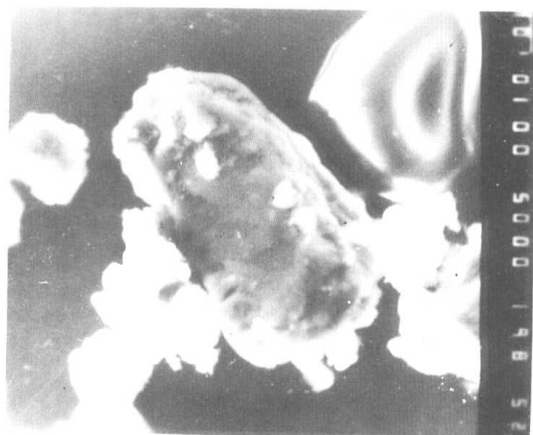
照 01 No.241 石英颗粒 960×



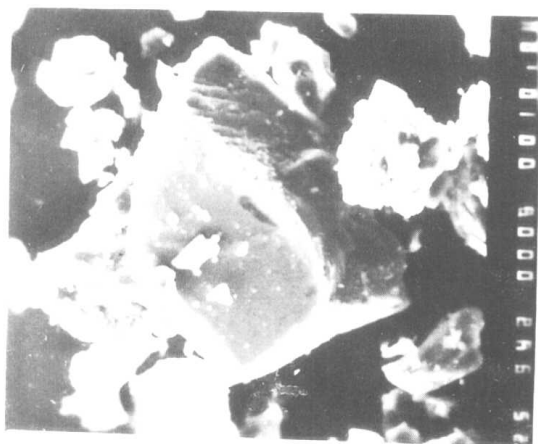
照 02 No.79 石英与 I/S 碎片 1000×



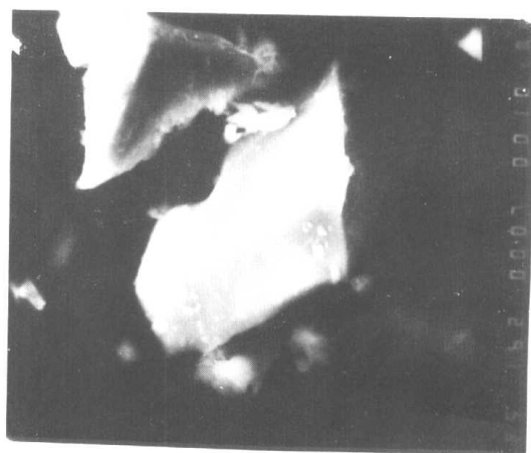
照 03 No.12 石英颗粒 860×



照 05 No.122 颗粒形貌 860×



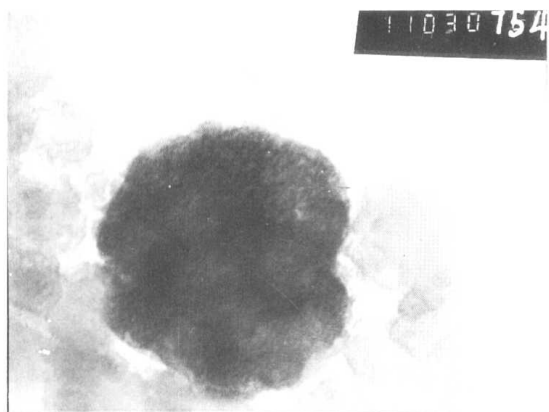
照 06 No.32 颗粒形貌 9400×



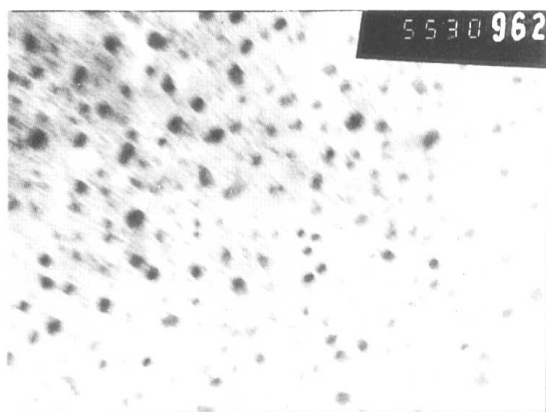
照 07 石英颗粒 1600×

0176430

电镜照片图版 VIII



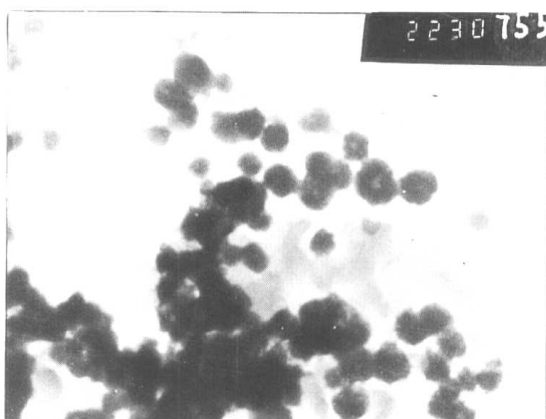
照 754 No. 75(200℃、11.5MPa)110000×
沥青球粒(0.04 μ m)



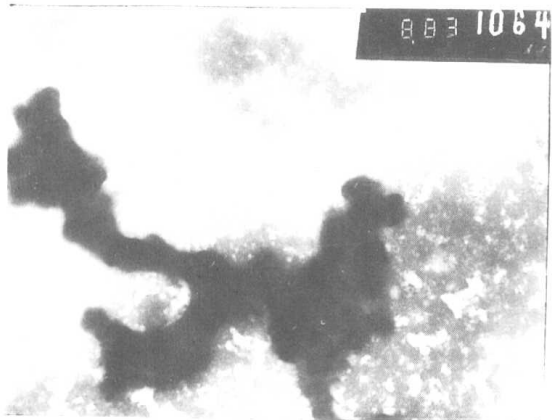
照 962 No. 96(200℃、7.5MPa)55000×
分散的沥青微粒(0.02~0.07 μ m)



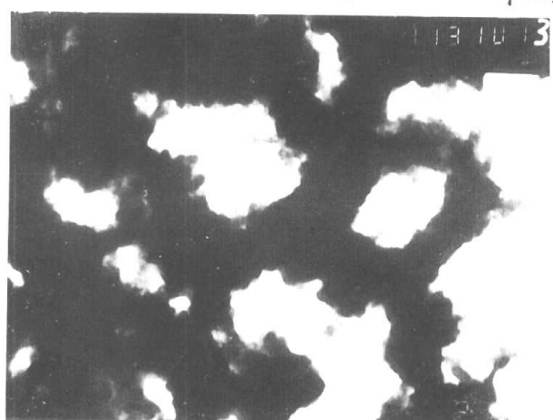
照 0 No. 101(100℃、11.5MPa)110000×
沥青絮单链(Φ 0.81~0.27 μ m)



照 755 No. 75((200℃、11.5MPa)22000×
沥青微粒集合体(0.14~0.23 μ m)



照 1064 No. 106(200℃、11.5MPa)8800×
干酪根状沥青



照 3 No. 101(100℃、11.5MPa)11000×
网状沥青



石油大学 0182759

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 国外稠油研究状况与发展趋向	(1)
第二节 稠油分类及储量等级划分	(4)
第三节 稠油热采筛选标准	(8)
第二章 辽河稠油油藏概况	(13)
第一节 基本地质特征	(13)
第二节 油藏分布状况	(17)
第三节 稠油资源开发状况	(19)
第三章 辽河各类稠油油藏的开采方法	(27)
第一节 锦 90 块非混相驱及现场扩大试验	(27)
第二节 边底水稠油油藏开发	(31)
第三节 曙光油田杜 66 块薄互层稠油开发效果及做法	(39)
第四节 高升油田块状稠油油藏的开采方法	(42)
第五节 生产中暴露出的矛盾及值得注意的一些问题	(48)
第四章 储层变化热模拟实验研究	(54)
第一节 储层岩石骨架颗粒的变化	(54)
第二节 粘土矿物的变化	(58)
第三节 新生矿物的产生	(63)
第四节 水岩反应与结垢沉淀	(67)
第五节 对储层变化规律的认识	(71)
第五章 驱油效率与驱油机理	(76)
第一节 高凝稠油的渗流特征	(76)
第二节 储层中稠油微观分布特征	(79)
第三节 微观驱油效率实验	(81)
第四节 蒸汽驱油机理研究	(86)
第六章 热采效果影响因素与综合治理	(92)
第一节 油井出砂	(92)

第二节	原油粘度对热采效果的影响·····	(95)
第三节	粘土矿物的危害·····	(102)
第四节	提高热采效果的技术途径·····	(105)
第七章	稠油热采工艺配套技术研究与应用	(110)
第一节	钻井工艺新技术·····	(110)
第二节	蒸汽吞吐采油工艺配套技术·····	(113)
第三节	助排、解堵技术	(116)
第四节	高温调剖与封窜技术·····	(119)
第五节	稠油井防砂排砂技术·····	(121)
第六节	微生物开采稠油技术·····	(125)
第七节	动态监测技术·····	(127)
第八节	稠油集输工艺配套技术·····	(134)
第八章	稠油注汽开发经济评价	(138)
第一节	储量经济评价·····	(138)
第二节	稠油开发经济极限评价·····	(142)
第三节	水平井经济评价·····	(146)
第四节	稠油脱水工艺经济效益分析·····	(149)
附 录	最新国内外稠油研究文献题录	(152)
[附]	照片图版	(163)

第一章 绪 论

第一节 国外稠油研究状况与发展趋向

1988年8月7日至12日在联合国训练研究署(UNITAR)及计划发展署(UNDP)组织下,由加拿大阿尔伯达省政府油砂技术研究局(AOSTRA)、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,在加拿大阿尔伯达省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。

1995年6月17日至21日,美国SPE联合加拿大几家大公司,在加拿大阿尔伯达省卡尔加里市召开的国际重油会议,有500多名代表参加,在论文集中发表了75篇论文。

从会议论文及讨论情况,可以看出目前国际上对稠油(重油)的研究状况及发展趋向:

1. 近几年在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,重油产量不断稳定增加。

加拿大1988年采用打井热采的重油产量水平是 $6.38 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$,露天开采合成油能力 $14.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$,合计重油产量约 $21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 。比1986年增加约 $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 。而常规原油产量 $72 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 并已逐步下降。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 $27.19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 降到了 $26.43 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 。但注蒸汽产量仍占EOR产量 $37 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 的71%。委内瑞拉重油热采产量仍保持在 $13 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 的水平。苏联采用注蒸汽、注热水、火烧油层等热采产量约 $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 。

目前世界上(不包括我国)采用打井热采的产量总计约 $5500 \times 10^4 \text{ t}/\text{年}$,加上露天开采产量共约 $7000 \times 10^4 \text{ t}/\text{年}$ 。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,世界上常规原油已证实的可采储量是 $1272 \times 10^9 \text{ m}^3$,而稠油及特稠油已证实的可采储量为 $795 \times 10^9 \text{ m}^3$,天然沥青可采储量约 $715 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。稠油、特稠油及沥青的可采储量约 $1510 \times 10^9 \text{ m}^3$,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 $10 \sim 20 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 的稠油油藏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,利用厚油层底部薄水层(仅3m)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 $58 \times 10^4 \text{ t}/\text{年}$,预计采收率可达50%。除此以外,沥青砂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、注蒸汽采油等)已商业性应用。每个井场约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。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,形成注采井间的蒸汽驱加热通道,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,正在加拿大的狼湖 1 号油砂试验区试验。在注蒸汽压力高于地层破裂压力下循环注蒸汽,形成裂缝,多次循环注蒸汽使采收率达到 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,再把各采用油井同时打开采油。该方法的加热效率比循环注汽或蒸汽驱高得多,采收率预计可达 40%。

• 加拿大阿尔伯达和萨斯喀彻温省的许多石油公司,采用出砂冷采技术提高非胶结砂岩储层的采收率,已成为一种经济可行的开采方法。

• 注蒸汽开采中提高扫油系统仍是广泛注意的关键问题,许多专家致力于向蒸汽中加入各种化学剂、气体及溶剂以提高开发效果。比如,委内瑞拉在波利瓦尔油区,向蒸汽吞吐井蒸汽中加泡沫剂试验了 16 口井,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 CO_2 及碱正在室内试验。蒸汽驱过程中注入乳化液堵气窜的方法正在加拿大阿尔伯达大学试验。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,委内瑞拉已在波斯坎油田 2 口 2500m 深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。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。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 建立了可进行全比例的井下泵模拟试验装置,可进行热采抽油井的沉砂、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,对改进稠油常抽技术很有帮助。

• 放射性蒸汽干度计及流量计已有现场试验,并有新产品问世。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。

• 重油输送技术已有重大改进。委内瑞拉已在 74 口井的区块,试验了水包油乳化液输送的新技术,它是通过加入一种表面活性剂而形成乳化液的,可使稠油粘度降低 3~4 倍。这比采用加热、掺轻油输送的方法耗能少、成本低。在油水体积比为 70:30 时,输送压力损失最小。此外,这种水包油及油包水乳化液还可以作为廉价的动力燃料,为稠油就地消耗开辟了新的途径。

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