

中国石油天然气总公司  
一九八八年度

# 科技工作年报

中国石油天然气总公司科技发展部

1989年7月



|     |          |
|-----|----------|
| 登录号 | 085596   |
| 分类号 | TE-1     |
| 种次号 | 008:1988 |



200439114

前



00754378

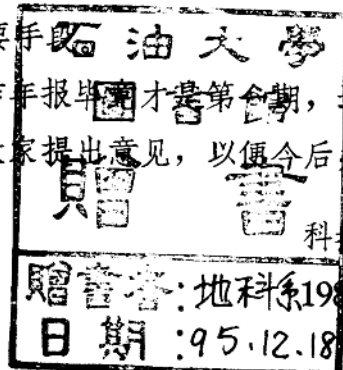
由总公司科技发展部编辑的1988年中国石油天然气总公司科技工作年报同大家见面了。

编辑出版科技工作年报，是科技发展部一项基础性的工作。今后每年出版一期。通过科技工作年报，向有关领导部门汇报一年的科技工作，检阅一年来石油系统广大科技工作者辛勤劳动的成就，总结一年来科技工作中的经验。所以，办年报可以鼓舞斗志、改进管理、提高水平、并系统、全面地积累资料。

科技工作年报的内容包括：一年来科技工作的回顾与总结；一年来总公司组织鉴定的成果和科技成果公报；一年来获得国家科技进步奖及其他获奖成果；一年来国家和部级重点科技攻关项目的进展（包括历次攻关项目检查交流会的纪要）；一年来技术监督工作的进展；一年中发布的标准；已公布的一年来石油系统的专利申请项目；科技组织机构的变化；一年中颁布的科技工作法规、制度；一年科技工作大事记以及其他与科技工作有关的文件。

总公司科技发展部已作出规定，要求各直属科研究所编印各自的年度报告。总公司科技发展部希望，各石油企业也能编印本企业的科技工作年报。这些年报，是办好总公司科技工作年报的基础，也是总公司系统内外交流科技信息、增进相互了解、促进相互合作、系统积累资料的重要手段。

总公司科技工作年报虽然出版了第一期，还很不完善，错误和遗漏难以避免。欢迎大家提出意见，以便今后办得更好。



赠书者：地科系1989年3月

日期：95.12.18

# 一九八八年中国石油天然气总公司

## 科技工作年报

### 科技成果与工作概况

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1988年石油科技成果总结.....  | 1  |
| 1988年科技发展部工作总结..... | 16 |

### 科技成果鉴定、奖励

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 1988年部级科技成果技术鉴定(评审)项目.....                  | 22 |
| 关于公布我部荣获1987年度国家科技进步奖项目的通知(1988年2月17日)..... | 28 |
| 1988年部石油工业科学技术进步奖公告(1988年8月).....           | 33 |
| 石油科技研究成果公报.....                             | 44 |

### 科技攻关工作

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| “七五”国家重点科技攻关项目各课题1986—1988年进展简况.....                                     | 102 |
| “七五”国家重点科技攻关课题“保护油层防止污染的钻井、完井技术研究”<br>1987年度进展情况检查总结会议纪要(1988年4月9日)..... | 117 |
| “七五”国家重点科技攻关课题“油藏数值模拟技术”1986—1987年进度总结<br>检查会议纪要(1988年2月).....           | 125 |
| “七五”国家重点科技攻关课题“稠油热采技术”1987年度工作总结检查会议<br>纪要(1988年10月10日).....             | 132 |
| “七五”国家重点科技攻关课题“化学驱油技术”1987年度进展情况检查总结<br>会议纪要(1988年5月).....               | 138 |
| “七五”国家重点科技攻关课题“微生物三次采油”1987年度进展情况检查总<br>结会议纪要(1988年5月).....              | 143 |
| “七五”国家科技攻关项目天然气研究工作会议纪要(1987年3月).....                                    | 146 |
| “七五”期间气源岩热模拟及稳定同位素工作安排(1987年5月21日).....                                  | 156 |
| “七五”国家科技攻关课题“天然气(含煤成气)资源评与勘探测试技术研<br>究”检查交流会议纪要(1988年4月1日).....          | 159 |
| “七五”国家重点攻关项目天然气研究专题研讨会会议纪要(1988年9月2日).....                               | 161 |
| 秦晋地区古生界天然气地质综合研究第四次工作会议纪要(1988年4月).....                                  | 164 |
| 国家攻关项目—中扬子地区海相地层油气保存及富集规律研究任务落实检查会<br>会议纪要(1988年3月).....                 | 168 |

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 国家攻关项目——滇黔桂地区杨子准地台海相碳酸盐岩油气演化及保存条件研究任务落实检查会会议纪要 (1987年3月) ..... | 170 |
| “七五”国家重点科技攻关 (54—02) 课题检查交流会议纪要 (1988年5月) ...                  | 172 |
| 全国第一次油气储层评价研究工作会议纪要 (1988年7月) .....                            | 175 |
| 中国油气区第三系研究项目协调组第一次会议纪要 (1988年7月28日) .....                      | 178 |
| 中国油气区第三系研究进展检查会会议纪要 (1988年6月7日) .....                          | 180 |
| 纵横波联合勘探方法试验阶段工作检查会议纪要 (1988年6月) .....                          | 184 |
| 石油及天然气地球化学勘探技术工作会议纪要 (1988年5月20日) .....                        | 186 |
| 关于十二项配套技术之一“综合勘探配套技术”汇报会会议纪要<br>(1988年3月) .....                | 189 |
| 凝析油气田开采配套技术攻关领导小组会议纪要 (1988年1月) .....                          | 191 |
| 凝析油气田开采配套技术攻关工作检查会议纪要 (1988年5月) .....                          | 193 |
| 油田开发工程与地震关系研究第一次专业协调组工作会议纪要<br>(1988年4月1日) .....               | 199 |
| <b>科技监督、标准、专利</b>                                              |     |
| 1988年石油技术监督工作和成绩 .....                                         | 201 |
| 1988年批准发布的标准目录 .....                                           | 207 |
| 1988年中国专利局公布有关石油系统的专利申请 .....                                  | 212 |
| <b>科技改革及有关规定</b>                                               |     |
| 关于直属科研院所全面实行院所长负责制的安排 (1988年12月30日) .....                      | 218 |
| 关于改变“石油管材试验研究中心”隶属关系的通知 .....                                  | 221 |
| 甘肃省化工研究院进入玉门石油管理局实现科研生产一体化 .....                               | 226 |
| 关于对承担国家重点科技攻关项目的专业技术人员试行岗位补贴的暂行办法<br>(1988年12月) .....          | 228 |
| 1988年先进科技管理工作评选结果通告 .....                                      | 230 |
| <b>其 他</b>                                                     |     |
| 附1 中国石油天然气总公司1988年科技工作大事记 .....                                | 233 |
| 附2 科技发展部工作职责与分工 .....                                          | 241 |

# 一九八八年石油科技成果总结

一九八八年石油各企事业单位认真贯彻执行“经济建设必须依靠科学技术，科学技术必须面向经济建设”的方针，紧密结合石油工业生产的实际需要，组织攻关研究、新技术推广与对外引进技术的消化吸收创新。同时深化科技制改革，建立科技同生产紧密结合的机制，促进成果迅速向生产转化，在科研项目管理上实行分级管理，引进竞争机制，调动个科技人员的积极性和为科技事业拼搏的精神，从而促进了科技工作的发展，夺取了又一科研成果丰收年。

一九八八年我们获得国家科学技术进步20项，其中一等奖2项，二等奖6项，三等奖12项；获国家发明奖4等奖二项；同时总公司还评选了一九八八年部级科技进步奖125项，其中一等奖11项，二等奖54项，三等奖60项。

一九八八年总公司承担了国家攻关项目55个课题，开展了十二项配套技术20个课题，十二项储备技术15个课题，总公司重点研究项目134个，共174个课题，实际取得油田级以上的较大成果558项，总公司级较大成果近100项（成果单行材料附后）。这些成果的取得为1988年完成原油13702.8万吨，天然气139.1亿立方米的生产任务发挥了积极的作用。其主要表现在以下十个方面：

一、塔里木盆地勘探取得重大突破，天然气获得重大成果，南方海相碳酸盐岩地质研究取得新认识

## 1、塔里木盆地勘探取得重大突破

塔里木盆地面积56万平方公里，是我国最大的内陆盆地。“六五”期间的资源评价研究成果，塔里木盆地石油远景资源量101亿吨（石油系统）或55亿吨（地矿部），天然气8.3万亿米<sup>3</sup>（石油系统）或5.85万亿米<sup>3</sup>（地矿部）。这一成果表明，塔里木盆地的油气资源潜力是巨大的。

自1978年开始，石油部又一次开展了塔里木盆地勘探，特别是地球物理勘探，从1978年至1982年完成1.3万公里的地震测线，从1983年开始进行了贯穿整个盆地的地震大剖面的勘探工作。地矿部于1984年9月22日在塔北沙参二井获得了高产油气流，使塔里木盆地有了新的突破。并在1988年于沙参二井所在的雅克拉构造又有三口井于侏罗系、白垩系（？）获得工业油气流。石油系统在塔北轮南构造继轮南1井见油流后，又于轮南2井发现了总厚度超过155米的含油层，经测试已有五层出油，单层日产油一般达500—700立方米，同时也有几百一十几万立方米的天然气。这一重要突破，进一步发展了塔里木盆地良好的油气前景。

研究表明，塔里木盆地地下古生界寒武—奥陶系，是良好的生油岩。这一海相生油层分布广阔，遍布整个塔里木盆地。塔里木盆地温梯度低（2℃/100米）生油门限也深，表明4000—5000米的深处仍处于生油期内，同时在5000米左右仍可保持有较好的储油物性（孔隙度仍可达20%，渗透率达200毫达西）。

研究与勘探实践证明,寒武—奥陶系海相碳酸盐岩发育断裂—裂缝—溶洞系统,不仅为油气运移提供通道,也是油气聚集的场所。上部侏罗—三叠系,多为河湖沉积,发育有河流砂体、三角洲砂体,是良好的储层。因此塔里木盆地不仅油源丰富,而且形成多套生储层组合,多层系含油。

塔里木盆地塔北隆起区,位于库东坳陷与北部坳陷之间,面积近4.0万平方公里。目前发现的高产油气流主要集中在这一地区,已展示可建成一定规模的油气生产基地。

塔里木盆地沙漠腹地发现有巨型构造,如塔中一号构造,塔中二号构造,有数千米厚的生油层,具有形成大油气田的地质条件。更加展示了塔里木盆地的广阔油气远景。

## 2、天然气研究有新进展勘探有新突破

我国天然气资源是丰富的,据不同部门有关专家测算,我国天然气资源量达15—33.6万亿米<sup>3</sup>。但目前找到的储量,加上油田伴生气,还不足1万亿米<sup>3</sup>。因此我国天然气工业是有广阔发展前景的。由于我国天然气地质条件很复杂,至今尚未发现上亿千米<sup>3</sup>以上的气田。为发展我国天然气工业,研究和认识中国天然气地质特点,总结已知天然气藏形成、富集规律,进而指导寻找大气田勘探,就成为“七五”以来天然气地质研究的重点。

通过这两年天然气有机地球化学研究,进一步证实了我国有多种成因的天然气,包括浅层生物气、深层裂解气,煤系为主的煤成气,含油盆地的油型气、伴生气。因此,找气领域广阔。同时,通过区域成气地质条件和天然气藏形成条件,富集规律的研究,有利地指导了勘探工作,在天然气勘探上,1988年新增天然气储量500亿方,是历史上新增储量最高的一年。

通过对天然气圈闭条件的分析,特别是水动力条件的研究,在大庆的三肇外围地区,已找到150亿米<sup>3</sup>的储量,并可能形成一个较大的产气区。在新疆准噶尔盆地东北部三台地区,找到了一个储量超过100亿方的含气区。塔里木盆地多井获得工业油气流。四川盆地川中地区找到了一个整装磨溪气田,探明储量达253亿米<sup>3</sup>。同时,在南海、东海、渤海湾等海域也都相继有了新的发现。此外,通过研究,还肯定了我国东部地区浅层天然气的找气领域非常广阔,并且正在积极开拓北方古生界碳酸盐岩的找气领域。

3、南海海相碳酸盐岩地区油气勘探技术和评价研究取得了新认识,提出了新思路。在中扬子地区沿江南隆起新发现了四处上二叠统长兴组生物礁点,证实了江南隆起在早古生代存在斜坡相带,在灯影组发现同生震裂岩表明,晚震旦世有同生断层发生,地台内可能有“新槽”存在。因此江南隆起及其周缘可能具有油气远景区,下扬子地区江苏油田在完成“中生代油气地质条件研究”的源流,根据新资料对区域地质进行补充,进一步细化构造带,对本区热演化史进一步深化,对油气盖层条件进行探讨。在上扬子地区提出了以“保存单元”作为研究保存条件的新思路。这些认识指导勘探必将使海相地层找油有所突破。

二、地震资料的采集和处理技术又有明显的进步,横向预测收到成效,物探装备有了新的发展

## 1、采集技术的进步主要表现为:

物探局和四川石油管理局基本掌握了横波资料采集、处理和解释技术,所获横波资料质量较好,具有能分辨小断层及小砂体的能力。它与纵波资料综合应用能提取反映岩石物性的一些信息,如泊松比等。为储层研究提供了一种新的手段。

同时今年物探局在陕甘宁盆地北部试验采集了一条长达30公里的转换波剖面,经处理,得到了比较连续的几层横波反射。这为横波勘探方法的推广应用打下了基础。四川也因地制宜的开展了转换波的试验研究工作。

根据中缅石油合作协议,今年物探局派了一个施工队到缅甸施工五个月,完成地震剖面522公里,13400多炮。这是我国第一个到国外施工的地震队。他们运用引进的先进技术和装备,经过消化吸收和攻关研究,将多道仪加高次复盖、精细的采集设计,获得了高效率、高质量的资料,打响了国外施工的第一炮。据缅方总工程师介绍,德国人工作四年,日本人三年都没达到你们这样的质量和效率。日本人平均一天放30炮,最高日放45炮,而我们平均日放110炮,最高放201炮。缅方总工程师还对我们的仪器装备和队伍的组织管理、服务精神等十分钦佩,热忱希望中方继续派人到缅工作。

## 2、资料处理技术在提高分辨率和信噪比方面有明显的提高。

今年继续通过对引进技术的消化吸收及攻关创新,在提高资料处理的分辨率和信噪比方面,初步形成了一套有效的处理流程。胜利油田的“信号增强”模块,物探局的“拟合法提高信噪比”、“信噪分离”等模块对压制噪声,增强信号有良好的作用。一些油田利用“Q补偿”模块,“两步法统计子波反褶积”等都为提高分辨率创造了条件。使用现在的高分辨率处理流程,多数老资料重新处理后,频带可扩展至60—80周,比原来的频带展宽约10—30周。

物探局研究院研究的多项式拟合内插地震道技术已基本完成,略作修改后,可以鉴定验收并推广使用。二维粘弹介质中地震勘探有限元数值模拟方法与应用软件已通过鉴定,认为该软件在效率、实用和在微机实现方面达到了国际领先水平。

## 3、横向预测技术的开发和应用初步收到成效。

横向预测技术在我国是从海洋开始发展与应用起来的,经过近两年的研究,有较多的单位已开始结合高分辨率资料采集、处理;垂直地震剖面法和测井资料的综合应用;波阻抗面积处理和人机联作解释系统的使用等方面的技术,使含油气储集的横向预测技术有了较大发展。胜利、辽河、大庆、物探局、四川等单位都取得了一定效果。

## 4、物探装备研究有新的发展

今年物探局和西仪厂都研制成功了遥测数字地震仪的采集站,并已转入小批量生产。物探局研制的SK—4型240道数控遥测仪已开始进行首次野外冬季考核。西仪厂试制的垂直地震剖面井下接收器已下井试验,效果良好。此外,浅海区气垫船、水陆两用水下接收器、陆上插入式气枪震源、沙漠空气钻、扫描信号发生器、电缆测试仪、保温送饭车等逐渐形成系列。

这些新仪器和装备的不断投入应用,大大提高了物探队伍的装备水平,有利于扩大勘探领域和能力以及生产效率、资料质量的不断提高;而且通过自制产品的使用,逐步代替进口设备,节约大量外汇,仅120道数字地震仪使用的250芯电缆,三年共生产204套,节约外汇达1500万元;物探装备的发展,还为开拓国际市场创造了条件,仅物探局

钻机、电缆和检波器的出口,可为国家每年创汇100万美元。

### 三、测井系列配套有新进展,资料处理、解释已渐完善,工艺有新的提高

1、老装备技术改造有发展,58—1多线测井仪微机改造技术自去年鉴定以来,今年推广量又有扩大,中原、江汉、玉门、长庆、吉林、新疆、滇黔桂等油田先后有20套投入生产使用,使五十年代的老装备向七十年代的技术水平跨进了一大步。

#### 2、测井系列的配套又有了新进展

自去年国产的岩性密度测井仪、自然伽玛能谱测井仪、井壁声波测井仪、井下声波电视测井仪、大排量分层测试仪等新测井技术鉴定推广以来,使我国国产测井系列增添了新品种,解决地质问题的能力大为提高。如岩性密度、自然伽玛能谱测井由江汉测井所组织服务队到华北二连地区测井10口,地质效果显著,对复杂地区的岩性参数测定、鉴别提供可靠依据。

#### 3、测井资料的处理与解释系统已渐完善

单井资料的环境校正,深度预处理,优化解释,多井评价,地层对比等程序已配套成体系,已达到实际水平,不低于斯仑贝谢公司。其中尤以江汉石油学院钟兴水等人、华东石油学院雍世和等人完成的优化解释程序,胜利油田完成的声波测井处理程序等具有相当高的水平,并已在生产中发挥了重要作用。

#### 4、测井工艺有了新的提高

八八年五月份鉴定的辽河、新疆二种类型的地面电缆自动丈量装置,使测井深度自动控制提高到一个新水平,减少了大量的人工劳动,并使用微机自动控制误差,使深度质量得以保证。

5、油藏描述研究取得了大的进展,承担此项任务的三个集团(胜利、石油大学集团,江汉局、江汉石油学院集团,石油勘察院与中原油田集团)共完成报告49份,三套油藏描述软件系统已基本形成,各自试描述了一个地质区块,预计90年全面完成任务已不成问题。

阶段成果中较突出的有:

- ①非均质油藏渗透率解释模型及其应用。
- ②地层倾角资料处理程序与构造自动解释研究
- ③测井相自动分析等。

### 四、科学钻井、保护油气层技术初步配套,定向、丛式井钻井技术有很大提高、钻井装备有创新

1、通过近几年各油田科学钻井,保护油气层的科研攻关,已初步形成了配套的钻井完井技术,经现场综合配套使用,取得了很好的效果。这些技术成果主要是:

①建立了以一般岩心分析、岩心流动试验及动态岩心分析一套完整的分析方法。共做了3318块岩心的X—射线、电镜分析、薄片鉴定、地层水分析、油层物性分析,1636块岩心的水敏、酸敏、速敏等岩心流动试验,571块岩心的动态岩心分析,建立了试验区或试验井的柱状敏感性矿物分布图。开展了油理的研究,对钻井液、完井液、压裂酸化液的近百种处理剂进行室内评价,为针对油气层特点科学的选用钻井液完井液及处理剂,提供了可靠的依据。

②研究建立了高压高渗透、低渗透和低渗透非自喷油气层损害的现场评价方法和计

算使用软件化。

③初步形成了水基、油基、气型三大钻井液完井液体系，基本满足我国各种类型油气藏钻井完井的需要。如辽河油田在高2—2—041井进行了充气钻井液（比重0.5—0.6克/厘米<sup>3</sup>）及砾石充填完井试验，不仅提高钻井速度，而且保护了油层，获初产27吨/日，为邻井产量的2倍。

④发展了FDN减阻剂，S24、S26、NVA降失水剂，D29、KQ—A、KQ—B防气窜剂，S12、S12A、S12B缓凝剂，T—50空心玻璃微珠、膨胀珍珠岩低比重剂等水泥外加剂、基本满足各种油气藏固井工艺的需要。

⑤研制成改性田菁、库巴胶等低残渣压裂液和降低滤失剂，可以根据油层酸敏水敏特性、选用低损害的压裂酸化和合理的工艺技术。

各油田针对本地区的油气层特性，配套使用低损害油气层的钻井完井技术的现场试验，取得很好的效果。如华北二连阿尔善油田，88年对44口井进行压裂投产，阿南32口井，平均产油指数增加2.24倍，哈南7口井，平均产油指数增加13倍。

2、定向井丛式井钻井技术，有较大提高，钻成一批有较大难度的定向、丛式井。

胜利油田为开发地面建筑物下的河50断块油田，设计了42口定向斜井的河50丛式井组，平均井深3017米，需要绕过多口井障碍。现在已开钻36口，交井31口，预计一季度可全部钻完。胜利油田还利用已钻成的偏离油层的直井，钻成三口套管开窗侧钻定向井。

大港油田在羊三木油田完成一组21口定向丛式井组。该井组由于地面村庄和复杂地形的限制，19口斜井只能在方位105度的扇形面内进行。

辽河油田采用16个丛式井组，121口定向丛式井，整体开发杜48断块油藏。由于地面建设费用的减少，就节约资金1471万元。

南阳油田在大港定向公司的支援下，在井楼地区浅层稠油层，完成了井深仅385—600米，一组8口丛式井。

新疆石油局，针对克一区石炭系裂缝油藏低压、低渗的特点，钻成了一口横穿石炭系裂缝井斜82度的大斜度定向井，获得日产原油67.5吨，是周围邻井产量的3.15倍。

3、发展一批技术水平较高的钻井装备和工具，为提高钻井水平提供了物质基础。

①长庆油田研制成我国第一批钻井液直线式振动筛。该筛处理效果好，使用寿命长，维修方便，主要性能达到目前国际水平。据三个油田五个钻井队使用资料统计，普通钩边40目筛网平均使用寿命超过600小时，60目平均达到336小时，80目平均达到230小时。新型粘结80目钩边筛网平均使用寿命1000小时，100目达到570小时。

②西南石油学院和四川石油局研制的800 GZ B灌注泵，实际工作效率达0.425—0.62，轴封填料平均寿命达400小时左右，是国内水平最好的一种灌注泵，解决了当前国内灌注泵性能差的薄弱环节。

③PDC钻头普遍使用出较好的效果，华北油田勘探二公司88年10月使用15只PDC钻头，江汉钻头厂生产的7只、休斯8只，平均单进尺1139.8米，平均使用108.56小时，平均机械钻速达10.6米/小时，一只PDC钻头，进尺相当于四只牙轮钻头的总进尺，机械钻速提高一至二倍。胜利油田利用国产材料和技术，研制的PDC—Z1—215型

钻头,试用12只,平均单只进尺852.13米,单只最高进尺1124.6米,接近Hycalog公司在同地区同类钻头的技术指标。

④国内研制的螺杆钻具脱胶问题已基本到得解决,石油勘探开发科学研究院研制的LZ165—1型螺杆钻具88年生产70余根,经油田使用60套,未发现脱胶现象。新研制的LZ198多瓣螺杆钻具样机,现场试验超过100小时。

⑤石油大学研究生部和江汉石油学院研制的6 5/8"涡轮钻具,在四川三千多米井深试验,最高机械钻速达7.82米/小时,由于其它原因,还未获得最终试验结果。

⑥大庆油田研制的SJ178钻具减震器,在大庆地区五口探井深部硬地层试验,平均使用时间697小时,该减震器既能减缓纵向振动,还能减缓扭转方向的冲击载荷。

⑦胜利油田研制出两种浅海钻井平台,增强了浅海海滩油气勘探能力。胜利2号是一艘水陆两栖步行式座底钻井平台,是具有内外体特殊形式的双体船,在水浅不能航行时,可脱开锁紧装置,借助一套步行机械和液压系统,实现步行的各种动作,这种结构的钻井平台属国内外首创。胜利3号是一艘矩形沉垫立柱支撑双层甲板结构,非自航浅海座底式钻井平台。

五、老油田调整挖潜取得重大成效,油气田科学决策技术有大的发展,油井增产技术大有提高,采收率现场试验见到苗头。

1、以提高采收率为中心,加强油藏研究采取综合措施的调整,提高了老油田开发效果。

近几年,老油田的调整主要转向中低渗透层的挖潜,各油田加强了细分沉积相,微观孔隙结构,岩矿组份和敏感性以及更有效的注采系统研究,在先导性现场试验的基础上结合油田实际进行了调整,取得了好的效果。大庆油田根据高台子小井距、杏树岗中区小井距二次加密试验的萨北、杏北表外储层等一批试验的基础上,以及根据平面和纵向剩余油分布进行的细分层系加密井网的调整,每年钻1000口井左右,增加可采储量5000—6000万吨,保持了5000万稳产13年。吉林扶余油田根据油田水淹状况和裂缝方位,将井网扭了22.5度,进行了总体调整,使年产30万吨产量增到100万吨,稳产了五年。胜利油田针对孤东油田高速开采造成的日产油量随地层压力下降而递减情况,采取注采调配的方法,完善注采系统,强化提水增压,狠抓了油田注水按照预测曲线进行了提水提液,恢复了地层压力,使油田形势进一步好转,88年11月与87年12月相比日产油从12443吨上升到13584吨,增加1141吨。双河油田对N V 1—4和北块I 4—6单元进行了井网加密调整,扩大含油面积0.7平方公里和1.485平方公里,地质储量分别增加27.5万吨和69.36万吨。还有华北油田在留17区采用了高压注水、压裂和深抽的配套技术进行整体调整,取得了好的效果。大港采油一厂采用层位接替;江苏真武进行了注采系统完善也都取得明显的效果。

2、油气藏数值模拟技术有了大的发展,基本上可以满足生产需要,将大大提高油气田科学开发水平。

油气藏数值模拟技术通过三年的攻关取得了一批成果

砂岩油田有:三维三相全隐式黑油模型、二维三相普通黑油模型和小型黑油模型。

碳酸盐岩油气田有:灰岩双重介质油气藏模型、裂缝性油气藏单块模型。

凝析气田有：凝析气藏、挥发油气藏全组份模型、凝析油气藏三相四组份模型、零维全组份凝析气藏干气循环最优化模型、二维三相全组份模型。

气藏有：砂岩边水气藏二维二相模型、裂缝性边水气藏二维二相模型。

除此之外还有稠油热采模型、二维全组份混相驱模型。

再加上这几年引进了美国Nobn和SSI两家公司最先进的黑油模型、裂缝模型、组份模型和热采模型等，使我国油气藏数值模拟的技术水平猛上了一个台阶，达到了80年代初的世界水平。这批软件已分别装在银河机、CYBER—830、845、855、VAX—11/782、785和高档微机上，逐步满足了大、中、小各类计算机型的要求。这批软件的推广应用必将使我国油气开发设计和研究工作建立在严格的科学计算和现代新技术的基础上，对于测油气田的变化、设计最佳效益的开发方案，弄清地下剩余油分布将起到重要作用，对油气田开发水平的提高将起到深远的影响。

3、油田开发系统工程（油田开发决策系统）研究，开辟了油田开发理论方法的新探索。

近几年许多学者把数学、物理、化学、地学和控制论向油田开发综合渗透，将油田开发理论方法进行变革，形成了油田开发最优化控制系统，我们在这方面也有探索和发展，取得最新成果有：成组气田开发系统工程、碳酸盐岩底水、高含水油田优化采油、复杂断块油田横向识别、复式油田综合识别和新井位设计、油田生产开发决策支持系统、油井模型与生产最优化软件等，这些方法的应用必将对上述各类油气田开发或某一系统的整个发展过程进行监控，系统分析，预报，最优化，调整给出最佳过程，形成开发最优化控制系统。这一领域技术的发展，虽然是开始探索，但它为油田开发开辟了新的前景，必将影响油田开发新理论和方法的建立。

4、全国各油田提高采收率方法潜力预测，取得了积极成果，先导性现场试验项目和内容增多，有的已见到好的效果，打开了现场试验新局面。

总公司研究院与各油田配合下对13个大油田的提高采收率方法进行了筛选，得到的初步看法是：大庆、胜利、大港、华北（砂岩）、吉林、河南以及克拉玛依、苏北油田的个别区块适合聚合物驱油，经济上是可行，注每吨聚合物约增油160—200吨，降水3—9方，大庆、中原、吉林乾安等低渗透油田 $\text{CO}_2$ 混相驱，但应深入研究高含蜡原油最低混相压力和 $\text{CO}_2$ 非混相驱的预测以及扩大扫及效率的方法，使经济上过关。化学驱从长远看可大幅度提高可采储量，在玉门老君庙，辽河兴隆台等油田较适应，需深入探索新的方法。以上这些结论将指导我国三次采油试验工作有重点、有步骤地开展。

由于各油田的重视，近几年全国逐步开展了聚合物驱、表面活性剂驱、 $\text{CO}_2$ 驱、胶束驱、注天然气驱、注氮气驱等各种类型的先导性现场试验，以及稠油火烧油层的可行性研究。有的已见到了好的效果，大庆小井距注胶束驱油试验，已累积增油3039吨，特别是514井，共增油1997吨，含水还在66.8%。大庆厚油层注聚合物试验，四口井注聚合物244.13吨，注水井的注入压力已有不程度上升。吸水指数有所下降，油井335井开始见效，含水下降了14.5%，日增油2—4吨，日降水39方。大港油田港西注聚合物驱油试验，已注聚合物156.8吨，三口注水井渗透层段吸水量平均下降40.3%，吸水剖面改善程度41.5%，平均渗透率下降44.2%，周围10口井都见到效果，从1986年9月到目前已

增产原油近1.5万吨，中心三口井产量由19吨/日增到43吨/日，含水率由86.1%降到现在的69%。这些好的效果是我国三次采油现场试验前所未有的。打开了现场试验的新局面。

#### 5、低渗透油藏开采技术初见成效。

低渗透油藏的开发经三年的攻关已初步摸索出一套办法，这就是深入进行储层评价研究，掌握宏观和微观的储层特征，提出开发过程中的特殊要求；确定和保证油井充分受效的注采井网和压力系统；从钻井到井下作业搞好油层保护；采用精细过滤改善水质，管道内防腐保持水质，注防膨剂以及高压注水；应用计算机程序优化设计，无伤害，大砂量的压裂以及在油井中采用强化采油的深抽技术。这套做法已使低渗透油开采见到明显效果，安塞油田有效渗透率仅为0.49毫达西，但在试验区采用了配套技术，注水试验取得成功，150—200米井距，9 MPa压力下，日注水可达30方，地层压力上升，油井见效，产量稳定，采取压裂加砂20—30方，一年后单井产量还能保持在4.6—6吨。阿南油田是细喉道渗透，水敏、酸敏、速敏都比较明显的油田，针对这些特点，采取了一套保护油层钻井完井技术和注入水中加入TDC防膨剂和阴离子粘土稳定剂，注水渗流速度限制在0.0017—0.0027 cm/sec之内等技术措施，使阿南油田平均产油指数增加2.29倍。

#### 6、油田开发监测技术有了大的发展。

近几年油井出油剖面测试，水井吸收剖面测试，剩余油饱和度测试技术，工程测井技术以及试井技术都有了大的发展，主力油层已建立了监测体系。88年又有新的进展，JLS—直径为25 mm的大产量抽油井分层测试仪的研制成功是抽油井监测技术的新突破，为老油田抽井并取全取准分层资料提供了新手段。同时又增加了集流型环空测试仪，不锈钢片隔离器环空测试仪等新品种，适应了不同类型油井的测试需要。锡—铟同位素发生器的研制成功取代了碘131，保证了引进的1"示踪流量计环空测井的顺利进行。

试井技术在总结国内外试井软件的基础上又推出TATC现代试井解释新软件，它分析效果可靠，操作灵活方便，理论曲线计算快，并且在拟合中首次采用了压力曲线与导数曲线同时拟合的双拟合技巧。为细拟合打下良好基础，提高了工作效率。脉冲试井修正了美国卡麦尔理论图版的缺点，新增加建立了割线法的理论模型和图版，全部解释已编成了实用软件。这种方法效率高，使用方便，不仅用于新区探边，对老区三次采油也可提供全面的地层参数资料。

#### 7、压裂酸化工艺技术发展到系列化配套阶段。

压裂酸化作业装备，几年来引进千型车组已达20套，八九年还要引进9套。使改造中低渗透层的进攻手段得到大大的改善。此外，还研制成水中不溶物少的CT—9—1库巴胶压裂液、乳化压裂液，减少伤害的降滤失剂，以及TDI—15、PTA和SQ—8粘土稳定剂，破乳剂等性能良好的压裂液和添加剂，中、高强度陶粒支撑剂，分段气举排液技术和压裂液助排剂，压裂裂缝测试诊断技术等。

在压裂工艺方面，大庆在分层压裂的基础上发展了投球多裂缝压裂（使单井日产增加17.2吨），缩小压裂层段夹层厚度压裂（使原适应的夹层厚度从3米变为现在的1.4米）；新疆开展加砂50方的大型压裂，取得日产油从8吨增加到67.1吨的好效果。

酸化技术发展了胶化酸、土酸、浓缩酸、胶束酸、氟硼酸，水力冲压酸化、气举凡尔排液等系到的一整套酸化工艺技术。

压裂酸化设计软件有了大的发展，不仅可设计单井，而且可以整体区块的压裂设计。总之，压裂酸化工艺技术的发展已经开始步入系列化配套发展的新阶段，对今后油气田的挖潜增产必将发挥大的作用。

8、油井堵水注水井调剖技术有发展，油田区块整体堵水技术有了提高。

油田堵水技术随着油田含水的上升，近几年重点转到对注水井进行调剖方面，取得了较大的进展。P1A—601延深调剖剂，该剂是以聚丙烯酰胺为主，601作胶联剂，有抗剪切、抗盐、耐温的优点；BD—861地下聚合调剖剂，该剂水溶液粘度小，成胶时间可控，成胶后粘度达50万厘泊，并且有膨胀10倍的优点；TD—910也是一种较好的地下聚合的单液法堵剂，注入时粘度小，便于施工，这三种调剖剂在油田试验成功率90%以上，起到了堵一点受益一片的效果。油田区块整体堵水主要发展的是数值模拟油田堵水优化方案设计程序和效果预测程序，硫氰酸铵和卤水为示踪剂的堵水剖面效果观察技术，铬胶冻单液法堵剂相应的堵水工艺，以及配合堵水调剖的压裂酸化，抽油等措施，这套技术发挥了整体考虑，综合治理的优势，比单口井堵水效果要好的多。是油田高含水期综合调整应采取的方法。

六、低耗节能油气集输技术有新的突破，防腐保温技术又有创新，高新技术在基础研究中开始应用

1、一九八八年低耗节能油气集输配套技术攻关取得较大发展，首先在大庆萨南油田和河南双河油田“两大片”上和鲁—宁、铁—秦“两条线”上获得突破：

①大庆萨南油田采油三厂在降低油田地面工程能耗，提高五大系统效率（提高原油集输系统热效率，抽油机系统效率，注水系统效率，输油系统效率及输变电系统效率）方面获重要突破，在大庆地区—30℃左右的气温下，实现了不加热集油井660口，集输每吨油自耗气由20米<sup>3</sup>/吨油下降到10米<sup>3</sup>/吨油，同时大大提高机、泵、炉效率，降低了供电网损失（35KV供电网损降到3.4%，6KV供电网损降到4.55%）八八年轻大庆萨南地区回收轻9万吨，增加输气量达8215万米<sup>3</sup>，节电达6080万度。

②铁—秦线，全长465公里，管径 $\phi 720 \times 8$ ，输油量1500—1650万吨/年。该线从铁岭首站经新民、黑山、锦西、绥中至秦皇岛末站，全线经过系统改造后使加热炉热效率提高到85%。输油泵效率提高到83—85%。实现了先炉后泵及泵到泵的密闭输油管道内部自动测温、测压和优化运行。配套改造后的全线年节电达到1370万度，节油2690吨，到1990年日电综合消耗指标与1985年相比要下降11.5%。

2、集输管道防腐保温新型材料及涂敷作业线，取得了可喜成果：

①华北油田设计院研制成功了HKF—1型快速固化环氧粉末涂料与钢管内外壁喷涂和补口技术。HKF—1型环氧粉末涂料，是一种不含溶剂，以空气为分散介质，干态进行涂装，热固化后形成涂膜的新型涂料。固化时间缩短，200℃时为10分钟，机械性能高，具有较好的耐化学性能，可抗100℃油田污水腐蚀。该涂料已用于任丘岔河集注站工程，内蒙古二连注水工程钢管内壁防腐，宁夏输油管线的马宁段黄河穿越工程。已建成年产50吨的环氧粉末生产装置。与研制环氧粉末的同时配套研制成功了一套钢管

内外壁同时涂敷作业线，喷涂管直径  $\phi 70-\phi 219\text{mm}$ ，已涂敷中小口径钢管90公里该作业线采用喷砂除锈，静电热喷涂的方法，其作业线传动方式，喷砂枪，喷涂枪喷嘴支架自动化等方面都有特点和创新。使用HKF-1型环氧粉末涂层的钢管，最低可用十年，比沥青玻璃布包敷防腐年限延长一倍，其经济效益和社会效益较好。

②HTF-1型耐高温有机泡沫保温材料，采用3GP-2J-DS三元催化剂，有效的提高了泡沫材料的耐温性和各项物理性能，耐温性为150—160℃比普通聚氨酯提高60℃，热分解温度提高70℃，抗压强度 $\leq 0.3\text{MPa}$  ( $3\text{kg}/\text{cm}^2$ )比普通聚氨酯硬质泡沫提高50%以上，其它物理性能均保持了聚氨酯的优点。三元催化剂无害，价格便宜，优于普通聚氨酯。

该新型保温材料可在常温常压下发泡固化，不需要加热熟化处理，施工方便，工艺性能优良，劳动强度低、生产效率高，已在辽河油田“一步法”泡沫夹克管生产线上进行了大工业化生产，取得了成功，若能代替现用聚氨酯保温材料，将取得巨大的经济效益。

### 3、油气集输系统应用高技术进行基础研究取得较大进步：

①气中液滴激光检测试验台，是应用近代激光全息记录和再现的先进技术，精确地测定气中带液情况，对研究和评价由气分离器有着重要作用。其主要技术关键是正确地记录气雾两相流中的液滴大小，分布情况和体积百分比，三维全息图像再现技术的标定及图像的数据处理，较理想的气体流体，理想的液体模拟介质，模拟气雾流与现场雾流相似性，作为依据和主要参数的确定。现使用的激光全息记录和再现技术，对气雾流的检测，达到了国内先进水平，利用模拟装置较真实的说明油气分离器捕雾元件前后情况，在石油的系统还是首次，该试验台的开发有广泛应用价值。

②光纤传感在油气集输系统中的应用：它主要是将光纤传感和微机技术集为一体，用光纤传感代替传统传感，变电信号传输或气信号传输为光信号传输，用微机取代传统的显示、记录、调节等二次仪表，开创一代适于油气集输系统的高技术系列仪表。该技术包括：光纤温度计，光纤压力计，光纤流量发讯器，光纤界面传感器，光纤油罐液位计……等，该技术已在江汉油田王一站试验运行。

## 七、油、气计量技术取得突破性进展，基本满足常规油田生产的需要

### 1、老油田油井计量技术改造有新突破，形成两类为油田适用的技术。

①密度法原油自动计量技术。该计量装置采用原油两相分离器，密度计和一、二次仪表与微机（或工业控制机）形成系统，对油、气、水进行连续自动计量。其关键就是成功的应用了SM1振动管式密度计，较好的解决了油井高含水期产液量的含水率测量问题，提高了油井含水原油的计量精度，可为油藏工程数值模拟提供更准确的分站、分队、分井的总产液量、油气量和含水率。该套装置结构合理，流程简单，费用低，改造工作量小，非常适合于老油田油井计量的改造。

②含水分析法原油自动计量技术：该计量系统主要包括两相分离器，含水分析仪，一、二次仪表和微机是实现油、气、水在线的连续自动计量。各油田采用含水分析仪有电容法、微波法、低能源等多种，要根据油田具体情况选用。也是老油田油井计量改造采用的一项成功技术。

## 2、油井油气计量新技术—三相分离自动计量装置。

这套装置主要包括三相分离器、液压三通球伐自动选井系统、微机系统、加热炉和破乳加药系统等。全部设备仪表皆为国内制造。这套装置是把高含水原油（含有气体）经加药三相分离区分成游离水、低含水乳化油和游离气。其中游离水中含油已很低，对误差影响不大，游离天然气经气路计量外流；低含水乳化油经在线含水分析仪或密度计连续检测，能够取得比较准确的含水率和密度数据。其主要优点就是排除高含水原油取样分析和仪表检测的高误差。使原油系统计量误差保持在 $\pm 5\%$ 。因此它是对高含水原油计量提高精度的有效途径，这套装置也为油田自动化提供了方便。是新区建设中比较理想的计量装置。

## 八、石油装备品种增多、向高效、节能方向发展

### 1、钻井机械装备有了显著的发展

为适应3000米深井科学钻井的需要，宝鸡石油机械厂生产了ZJ—320钻机，在河南经200大气压喷射钻井试验，比未改造的钻机提高机械钻速20%，机修时间减少到不到工作时间的1%。兰石厂生产的45D、60D钻机填补了我国电驱动一类钻机空白，在中原、胜利试验成功通过了鉴定。胜利油田研制成的适应浅海的步进式钻井船，属国内外首创，船长72米，宽42.5米，高12.6米，钻机能力4500米，适用于0—7米水深，步速6.0米/时，它的成功使胜利油田海滩勘探面积扩大600平方公里，现正在钻第一口井。物探局生产的WTZ—18型沙漠地震钻机在塔克拉玛干沙漠生产一年表明各项性能指标先进合理，达到国外同类产品水平。

西南石油学院与四川石油管理局研制的800 GZ B灌注泵解决了在高海拔高泥浆比重情况下泥浆泵抽空和容积效率低的问题，该泵技术性能指标达到国际水平，结构独特已申请专利。

长庆与西南石油学院研制的2 ZZS—D型振动筛，筛分效果好，相同筛目情况下处理量比以前大30—50%，80目的寿命长达1177.3小时，普通筛80目只有230小时。结构新颖，性能指标达到国际水平，也已申请专利。

中原油田与上海石油仪器厂研制的SZJ861钻时录井仪具有自动监视，自动记录，显示和报警功能，并备有高性能不停电电源，可提供十多种测量参数及计算机实时控制和处理。在中原油田打井中由于它给出了泥浆中总烃的变化及时发现了油层。

除此之外，大庆研制的ST178钻具减震器，采用了前所未有的结构，性能良好，在钻井中使用它可提高钻速，减少事故，延长钻头使用寿命。已在部分油田推广了五十台。以上装备、仪表的研制和使用为适应复杂地区的钻井和提高钻井效率及技术水平起到了重要的作用。

### 2、采油机械向多种形式和节能方向发展

抽油机当前新发展有链条抽油机、增矩式抽油机、导向曲柄抽油机、气平衡抽油机、全皮带式抽油机以及正在研制的液压抽油机，长冲程（9—10米）低矮型抽油机，这些抽油机总的特点是向节能或节约原材料和增大功能发展。抽油机动力发展的已有三型、四型节能高转差电机，以及仿制的30、42马力的天然气机和TZ12V190带530、700 KW发电机组的天然气发动机。

抽油杆,已研究完成了D级、K级杆及KI级杆。以国产材料20CrMo钢生产的KI级杆,价格比国外用CrNi钢生产的杆便宜,性能符合API标准而且耐H<sub>2</sub>S,卤水为腐蚀能力较K级杆提高10倍。空心抽油杆的研制成功填补了空白,使油井中可形成正循环工艺,正循环热液能快迅降粘,化蜡,有利于稠油含蜡油的开采;也可以对常规抽油助抽,增加活塞有效行程,增加产量,可带螺杆泵及冲砂等。目前在南阳油田试验井已连续运行三个月,与反循环相比,产量从7.3方/日提高到11.5方/日。正在开展的还有超高强度抽油杆即H级抽油杆,D+K级杆和玻璃钢抽油杆。这些任务完成后,抽油杆将基本配套系列化。

抽油泵和泵阀也有大的发展。除玉门、大港引进的两套作业线,可加工长30英尺的长筒泵技术外,我们还与沈阳金属所等单位联后研制成功几套泵筒处理工艺技术,即内壁激光处理技术,低温渗硼技术和化学镀—NiP工艺技术。其中激光处理技术,经现场试验,泵筒寿命延长一倍以上,在国际上也是首创。目前正在展开的内壁复合镀NiP、SiC工艺,室内已取得突破性进展,其耐磨蚀性优于渗碳淬火处理工艺。为适应稠油生产的需要辽河研制成地面驱动单螺杆泵采油系统。除对稠油井适用外,对含砂井,气液两相抽吸油井以及中、低产率的稀油井都适用。其性能指标达到加拿大COROD公司同类产品水平,在大庆、新疆、吉林、中原等油田迅速推广应用。此外还有吉林油田研制的双排量抽油泵,它在上冲程也能靠副油腔抽吸原油,比常规泵增加生产能力33%,适应油田高含水期开采加大排量的需要。因此可以看出经过这几年努力在三抽方面已逐步形成了多形式,非单一的几套技术。

采油机械还有一个重要方面就是开展了抽油机系统效率的工作,它包括气平衡抽油机,皮带抽油机,轮式接箍,同步齿形皮带,石墨盘根盒,调心盘根盒,Y系列电机,整筒泵等,把这些技术放在一个系统中,在一定的条件下优化组合,取得系统最佳效益,该项技术已在大庆取得了初步成效。

### 3、油田输油、注水装备也有创新

长庆油田与部外单位合作完成的曲杆泵输油研究,该泵代替了离心泵输油,具有体积小,重量轻,运转平稳,泵效高的特点,单台泵年节电0.67万度,年节约资金145万元/台。注水过滤装置打破了国外10 μm以下级别过滤器不能反洗的框框,创出了精细过滤器反洗的新路子,并降低了注水泵压,节电5—10%,提高地质吸水指数,可增注5%。该技术属国内外首创,与国外滤棒过滤器相比,仅滤料再生一项每年可节约5万元。这项技术的研制成功,为油田注水提高水质,特别是对低渗透油田的注水起到了重要的作用。此外还有沙漠高浓度苦咸水淡化处理装置也已研制成功,正准备在库尔勒现场试用。

九、钻井完井液又有新发展,油水井处理剂有新提高,水质处理剂增加了新品种

#### 1、钻井完井液在配套的基础上有了新发展

①防塌泥浆:随着钾盐泥浆和钾、胺基聚合物泥浆的推广应用,新型防塌泥浆又不断出现,均取得了好的效果。

钾、石灰泥浆在辽河沈67、安12断块95口井上使用。平均井径扩大率降至10%以下。沈67断块处理井塌划眼时间从72小时/日井降为8小时/井,测井一次成功率

从40%上升为66.7%。

磷酸钾聚合物泥浆在新疆北三台五口井上使用较好地解决了该区井塌，平均井径扩大率小于10%。

阳离子聚合物泥浆在辽河的沈阳油田安十二块及十号平台七口井上使用，抑制泥页岩膨胀坍塌，井径较规则，平均井径扩大率为7.6%，完井电测一次成功率达100%。

吉林油田在乾安构造使用磺化沥青，坍塌最大井径扩大率从40%降至16%，河南油田在周口地区周20井使用PAC—磺化沥青泥浆，有效地抑制了井塌，平均井的扩大率降至10%以下。胜利在河口、义和庄、牛居等构造使用后，易塌的沙三组地层平均井径扩大率从26—16%降至13—4%。

②堵漏剂：井漏是钻井过程中较为常见的复杂情况。桥接堵漏在全国各油田推广收到较好效果。成都科技大学与四川局合作试验的弹性凝胶堵漏剂，在10井上堵漏13次成功率69%（这些井都是用水泥、桥接堵漏没有成功的井）。四川天然气所研制的尿醛树脂堵漏剂在罐33井堵漏一次成功。中原油田使用狄塞尔堵漏成功率达80%。

③完井液：根据不同类型油气层的特点，研究成功了不同密度、不同类型的完井液。辽河油田九口钻古潜山地层的井上使用密度为1.03—1.45的无搬土相钻井液，其泥饼酸化率达84%以上，最深钻达3326米。19口钻古潜山地层的井上使用盐水聚合物完井液泥饼酸化率达93.8%，抗温达120℃，密度为1.01—1.20。在高升构造稠油区推广了CAC完井液，使当年投产的10口井，产油达到15.74吨/日，提高了37.5%。中原油田在六口井上使用了密度为1.06—1.70的低搬土聚合物完井液，使刘3井获得日产气4.7万立方米，春1井获日产油50立方米，较邻近井提高2.5—5倍，特别是卫90和卫94井分别达到日产原油6.85和17.6立方米，使采用普通钻井液钻探八年之久的卫城西斜坡获得工业油流。

## 2、新添了一批油气井增产处理剂

①堵剂：大庆油田研制成一种高强度油井堵水剂，施工26口井有效率100%，累计增油1.15万吨，降水6.1万方，打破了大庆油田化学堵水不增产的局面。华北油田针对古潜山油田水淹特点，研制出堵大裂缝的POR复合凝胶及时解决了老堵水剂已不适用问题。针对水井调整吸水剖面，增加BD—861、TD—910、PIA—611三种较好的调剖剂，在油田应用取得了满意的效果。

②新型压裂液：四川天然气研究所研制的CT—1压裂液是种以植物胶为原料，经化学改性制得的水溶性植物胶衍生物。具有适中的粘度和抗剪切能力及容盐能力（KCl 20%），用量低（ $0.937 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2$  时15—30%），破胶后残渣低（ $\leq 300 \text{ mg/L}$ ）漏失量低，悬砂性能好和摩阻低（清水的50—70%）等特点，可满足40—130℃下油、气大型压裂酸化施工要求。该压裂液已在四川的中73、西51、威101、成24及广西的百30百56及仓21等7口井上进行了现场作业。其中加砂压裂5井次，最高砂比为陶粒691Kg/m<sup>3</sup>，加砂量79.4米<sup>3</sup>，前置液压裂酸化2井次。七次施工均获成功。西51井原产气2610 m<sup>3</sup>/d，施工后增至7920 m<sup>3</sup>/d；成24井从 $2.5 \times 10^4$ 增至 $4.2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ 均取得较好的经济效益。

③酸化腐蚀剂：对油田酸化腐蚀的问题，华中理工大学油田腐蚀与防护研究室研