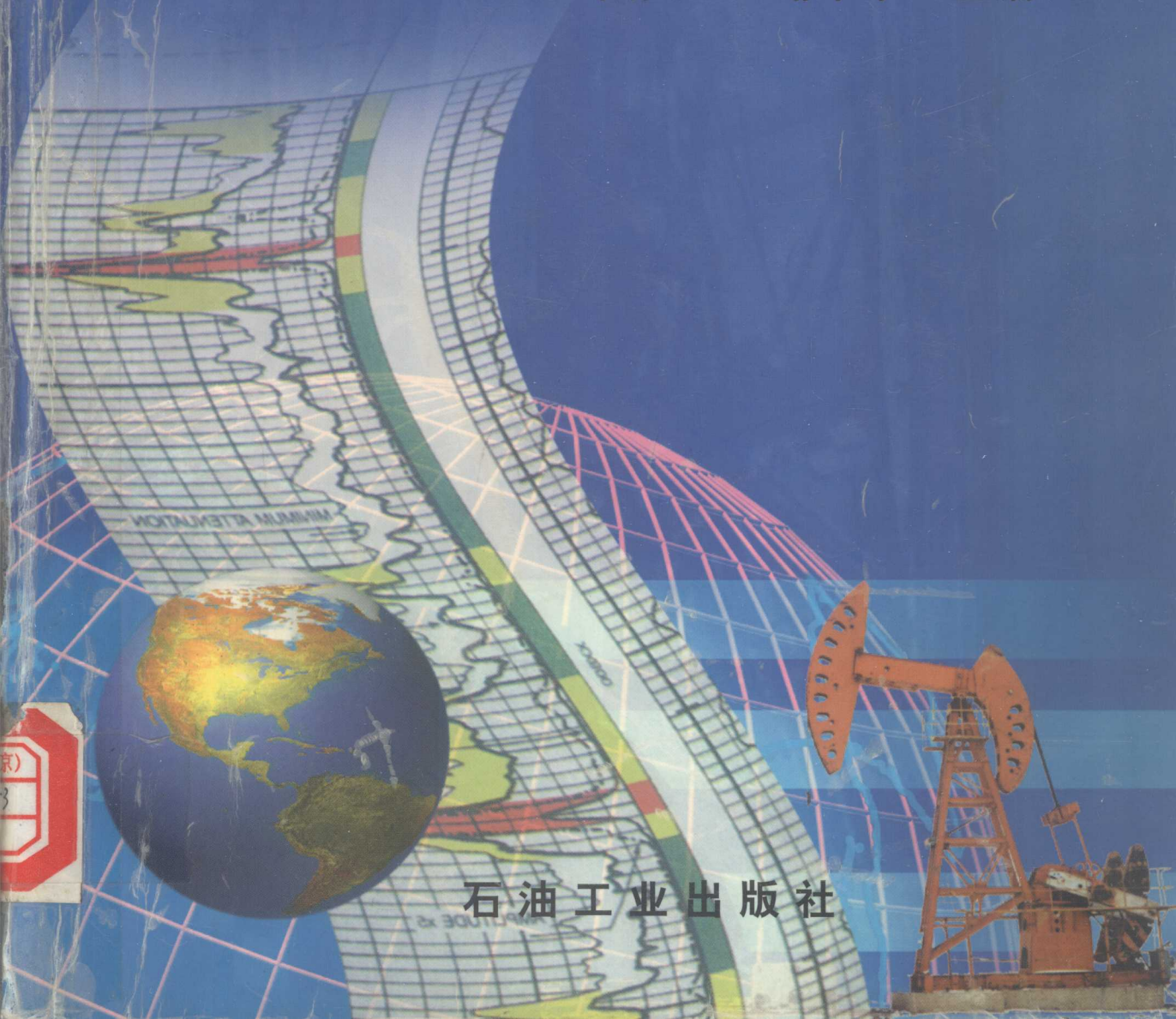


油田开发测试 技术新进展

陆大卫 谢荣华 主编

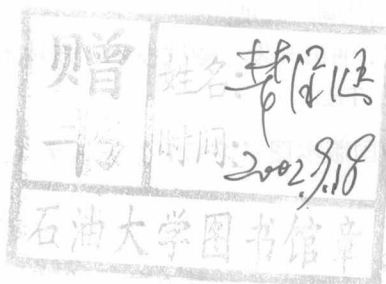


石油工业出版社

登录号	180311
分类号	TE34-53
种次号	014

油田开发测试技术新进展

陆大卫 谢荣华 主编



石油大学 0183750

石油工业出版社

110081 号类分
410

内 容 提 要

本书主要介绍近年来油田开发测试技术方面取得的成果,内容涉及测井、试井等方面,基本反映了国内油田开发测试技术现状。

本书可供从事油田开发测试的技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油田开发测试技术新进展/陆大卫,谢荣华主编.

北京:石油工业出版社,2002.8

ISBN 7-5021-3821-8

I. 油…

II. ①陆…②谢…

III. 油田开发-测试技术:新技术-进展

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 045136 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

河北省地勘局测绘院印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 24 印张 614 千字 印 1—1500

2002 年 8 月北京第 1 版 2002 年 8 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3821-8/TE·2782

定价: 48.00 元

编 委 会

主 编：陆大卫 谢荣华

副主编：赵培华 刘兴斌

编 委：吴世旗 王金钟 张奇斌 聂锐利 田树祥 张永奎

李进旺 侯云福 樊新香 董玉江 邓 刚 郑 华

张同意 刘宪伟 钟兴福 郑希科 刘继生 刘春妍

丁礼权 姜英兰 刘国良 郭建庆

前 言

油田开发测试对于油田开发方案调整、提高油田采收率起到至关重要的技术支持作用。近年来,油田开发测试技术在理论方法、仪器研发和测试综合解释等方面取得了长足的进步,为油田高效开发做出了重要贡献。

为了展示油田开发测试技术最新技术成果,在中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司的指导下,在大庆油田公司测试技术服务分公司的组织下,在国内石油界同仁的帮助下,我们组织编写了这本论文集。本书共收录了全国各油田测井、试井新技术论文 63 篇,内容涉及不同油藏地质条件下测试领域中的理论方法、新技术应用以及测试学科的前沿和热点问题,展示了这一技术领域研究的最新动态和发展方向。

本论文集可供油田开发科技工作者参考,不足之处,恳请读者批评指正。

《油田开发测试技术新进展》编委会
2002 年 6 月

目 录

国内油田开发测试技术新进展及今后发展方向	赵培华 (1)
国外生产动态监测技术发展趋势	郑 华 张同意 (6)
四十臂井径测井资料处理方法研究	郭海敏 戴家才 方 伟 (11)
阻抗式过环空找水仪在吉林油田红岗采油厂的应用	齐耀春 张志利 袁 野 (14)
碳氧比能谱测井技术在扶余油田东二区的研究与应用	周恒涛 魏兆胜 张恩龙 崔 洋 (18)
放射性同位素测井在大老爷府油田的应用	王建国 (26)
开发井测井资料在老井挖潜中的应用	王 海 (29)
井斜测井技术在胡一庆油田开发中后期的应用	吕新华 贾建明 王军锋 (33)
硼中子寿命测井在特殊岩性储集层应用研究初探	何国安 汤 蒙 翦兰芳 刘 忠 尚广超 (37)
生产测井技术在渤海油气田开发中的应用效果	谭 吕 安桂荣 (43)
RMT (C/O) 剩余油监测技术在冀东油田高 3106 断块的应用	刘泉海 刘 伟 赵隆顺 刘玉艳 (49)
压力监测资料在油田开发中的应用	李恕军 朱圣举 陈建文 (59)
应用产液剖面测试技术挖掘志留系油藏潜力	李鸿彪 景士宏 (66)
中子寿命测井技术在沈 67 块高含水期开发中的应用	刘广东 张景海 赵志彬 许国民 (70)
动态监测资料在陇东地区油田开发中的应用	付文耀 (76)
注水产液剖面资料在双河油田开发调整中的应用	毕 生 马培申 敬国超 (82)
氧活化水流速度测量的两种模式	郑 华 丁礼权 (91)
小直径井壁超声成像测井仪在油田的应用	王兴国 刘延顺 汪 刚 陈茂龙 (101)
碳氧比测井曲线高分辨率处理技术	刘宪伟 李淑苹 郑 华 (105)
连续产出剖面测井技术在胜利油田中的应用	刘 海 王广忠 鞠明渊 高立敏 王玉玲 梁军彬 (109)
ϕ 20 产出剖面测井仪及现场应用	庄海军 袁智慧 刘 纯 张新红 (114)
过环空井下靶式流量计研究	于勇波 曾桂红 (120)
产出剖面测井在渤海油田中的应用	韩玉堂 钟兴福 朴玉琴 王德坤 (124)
RMT 测井仪在套管井地层评价中的应用	张唯聪 侯世华 刘玉艳 (131)
管外介质环厚度对套管波的影响	冯 逾 刘继生 宋国玲 (137)
应用浏览器插件开发技术实现测井解释成果网上浏览	赵亦朋 董秋燕 (142)
动态监测资料确定剩余油分布在油田开发中的应用	梁晓东 王淑萍 金 华 李国庆 (146)

工程测井在套管损坏检查与预防中的应用	刘继生	谢荣华	韩玉堂	刘国良	(151)
偏心声源激发井孔声场的数值模拟与分析	吕秀梅	韩玉堂	刘继生	(159)	
用于聚合物注入井的注入剖面测井同位素连续释放器	赵红梅	王金钟	于向江	王庆龙	(165)
一种用于测量三元复合驱注入剖面的测井技术	张爱霞	刘静章	田树祥	钟兴福	吕殿龙 (169)
能谱水流测井仪及其在油田开发中的应用	李 婧	宋国玲	林长吉	(178)	
电导传感器的电场分布实验分析	张玉辉	刘兴斌	胡金海	乔卓尔	(185)
电导式相关流量测井仪在多相流井上的实验	胡金海	刘兴斌	黄春辉	张玉辉	乔卓尔 周家强 (191)
DDCO-2 型双源距碳氧比能谱测井仪	董建华	刘宪伟	王 晶	(195)	
脉冲中子氧活化测井仪	龚 杰	王 晶	李 凤	(201)	
数据融合技术在组合测井中的应用研究	刘亚东	黎福长	宋玉凤	(208)	
注入及产出剖面组合测井解释方法研究	白秀云	郝俊丽	姜 丽	(213)	
电位剖面测井在大庆喇嘛甸油田的应用	林中雨	王 波	汪光丽	(221)	
MIT 多臂成像测井仪原理及其应用效果分析	姜岳庆	倪秀敏	(227)		
用生产测井资料求储层剩余油饱和度的方法研究	谢进庄	(235)			
RMT 测井技术及其矿场应用	吴云桐	郭志华	汪 熹	(240)	
不稳定试井技术在气田开发中的应用——以呼图壁气田为例	刘 英	张 虹	胡新平	梁建新	(246)
注产气剖面高压密闭测试技术	程柏青	王成荣	李江予	刘洪亮	刘 哲 (252)
弱脉冲干扰试井技术及应用	刘泉海	邓均健	刘 伟	李青峰	刘曰武 (260)
试井软件平台在吉林油田的应用及效果	张东风	姚 臣	朱义清	(267)	
青海尕斯库勒油田抽油井环空液面折算流压研究	张 洪	(273)			
油田井间示踪测试技术新进展	刘安建	刘同敬	蔡传富	王庆林	侯创业 荣跃森 (278)
提高长 6 低渗透油藏测试效率和试井效益研究	程启贵	朱广社	王宝明	袁俊平	(285)
试井资料在油田开发调整中的应用	靳文奇	黄文宽	陈永平	(292)	
高温注汽井放喷过程中产液剖面测试技术	赵 鹏	陈大众	(298)		
随泵测试技术	刘继红	王志愿	褚冠求	(302)	
灰岩凝析气藏试井方法研究与应用	刘继红	褚冠求	王志愿	(306)	
压力导数特征点拟合分析方法研究	廖新维	张同义	杜 鹃	(315)	
新测井技术在裂缝性地层中的应用及效果分析	左银卿	袁路波	郝以岭	宁志英	于沛洲 (321)
低启动排量电子存储式流量计	杨树敏	张淑珍	贺丽英	(327)	
新型多参数综合试井仪及其应用	杨文明	刘国良	牛为民	(332)	
数值试井解释方法研究及应用	何凤珍	杨 立	何虎宗	(336)	

两流量试井工艺及资料解释分析方法研究	孙 波	王汉鹏	王 琦	(340)
抽油机井液面恢复法压力计算方法研究	赵向民	陈泽山	刘学峰	(349)
压力恢复试井中计算续流量的新方法	陈 鹏	郑希科		(354)
井间干扰(脉冲)试井技术在油田开发中的应用	张同意	杨永智	杜 鹃	(361)
压裂井不稳定试井资料的分析应用	蔡丽华	孙 勇	王 琦	(367)

国内油田开发测试技术新进展及今后发展方向

赵培华

(中国石油勘探与生产分公司)

摘 要 本文概括性地介绍了我国油田开发测试技术现状和近年来取得的技术成果及应用情况,阐述石油企业重组上市和中国加入 WTO 后,油田开发测试面临新的形势和挑战,指出油田开发测试技术今后发展方向。

一、测试新技术、新仪器、新工艺、新方法进展情况

近年来国内测试技术进展情况主要体现在以下几方面:

(1) 注入剖面测井。大庆测试分公司研制成功氧活化测井仪,并在聚合物注入剖面测井、注水注聚剖面找窜找漏等方面取得初步应用效果;大庆测试分公司还研制出用于聚合物注入剖面测井的同位素连续释放器,该仪器克服了传统的一次性同位素释放器在注聚井测量中出现的聚合物沉积和抱团现象,能使示踪剂与注入液更好地混合,现场试验取得良好效果。另外大庆测试分公司还研制出用于三元复合驱注入剖面组合测井仪,并在 4 口井中取得较好测量结果;吐哈油田成功开发注气剖面高压密闭测试技术,在吐哈油田和塔里木油田得到成功应用。

(2) 产出剖面测井。大庆阻抗式过环空找水仪得到进一步改进,提高了仪器的可靠性,拓宽了应用范围,在大庆、吉林、胜利等油田得到推广应用;大庆测试分公司研制成功 $\phi 20$ 产出剖面测井仪,为今后在小井眼井、大油管接箍井及分层产出井中进行产出剖面测井提供了技术手段;辽河钻采院研制成功用于高温注气井放喷过程中产液剖面组合测井仪,并在 5 口井中取得合格的测试资料。

(3) 地层参数测井。大庆测试分公司开展双源距碳氧比能谱测井仪现场试验并取得初步成功;注硼—中子寿命测井技术施工作业和测试流程得到进一步完善,在很多油田得到推广应用,取得较显著应用效果。

(4) 工程测井。大庆测试分公司研制成功小直径井壁超声成像测井仪,70 余口井中的测试结果表明,该仪器各方面性能可与引进哈里伯顿的 CAST-V 相媲美,为套损检测提供了一种新的手段;另外大庆测试分公司还开发出包括井壁超声成像在内的工程测井组合测井仪,不但可以检测出套损情况,还可以为分析套损机理和制定预防方案提供依据。

(5) 试井方面。大庆测试分公司研制成功新型多参数综合试井仪,成功地将测井技术中磁定位技术引入到试井仪器上,不仅解决了试井测试中深度误差大的问题,同时一次下井可以完成动液面、静液面、流压、静压、井筒内流体密度等多项工作,该仪器的研制成功充分说明今后测井和试井相互融合、相互借鉴的发展方向;大港油田采用随泵测试方法成功地在 9 口油井中进行不稳定试井,为今后在非偏心井口油井中进行不稳定试井提供了一种新的思路。

(6) 井间测试方面。井间试井方面提出弱脉冲井间干扰试井技术并在冀东油田取得初步应用效果；井间示踪方面提出第五代微量物质油井捆绑技术和综合解释方法。

(7) 实验和基础研究方面。大庆测试分公司开展了氧活化水流速度测量的两种模式研究、过环空井下靶式流量计研究、电导传感器的电场分布实验分析、管外介质环厚度对套管波的影响、电导式相关流量测井仪在多相流装置上的实验研究以及偏心点源激发井孔声场的数值模拟与分析等。

总体来看，近两年油田开发测试在新技术、新仪器、新工艺和新方法上取得较大进展，尤其在高含水、聚合物驱注产剖面测试以及套损检测等方面进展较显著。但在低渗透油藏、裂缝性油藏及特殊油气藏等方面测试技术进展相对慢一些。另外在水淹层剩余油饱和度测试新技术新方法方面文章比较少，还有就是有些研究尚处于起步阶段，这次有很多是阶段性成果，尚需进一步深入研究。

二、测试资料处理与解释方法进展情况

(1) 测井方面。大庆测试分公司开展了碳氧比测井曲线高分辨率处理方法研究，利用蒙特卡罗数值模拟方法，通过适当反褶积和开窗技术组合，使碳氧比纵向分辨率可以达到 0.5m；同时在注入及产出剖面组合测井解释方法研究、应用浏览器插件开发技术实现测井解释成果网上浏览、用生产测井资料求储层剩余油饱和度的方法研究及采用数据融合技术进行组合测井等方面也取得较大进展。

(2) 试井方法。石油大学试井软件 (Wise) 中采用压力导数特征点拟合分析方法，使拟合过程可视化，提高了解释结果的可靠程度；大庆测试分公司开展了两流量试井资料解释分析方法研究，使抽油机井在不停产的情况下进行不稳定试井成为可能；数值试井分析方法的应用有可能解决困扰试井解释中邻井影响、地层非均质性、流体分布等问题，代表了试井解释的发展方向。另外大庆测试分公司在压力恢复试井中计算续流量的新方法研究及抽油机井液面恢复法压力计算方法、青海油田在抽油井环空液面折算流压方法、长庆油田在提高测试效率和试井效益研究等方面也取得进展。

三、测试新技术应用效果情况

1. 测井资料应用方面

(1) 吉林油田 2001 年利用大庆油田的阻抗式过环空找水仪器对 50 口井进行了过环空测井，测井结果与地面标准计量结果相比，全井产液符合率达 78%，全井含水符合率达 84%，这些测井资料为吉林油田油藏剖面的再认识提供了可靠的技术依据。吉林油田利用小直径井壁超声成像测井技术对昌 25 井套管进行了检测，发现在 3141.8m 处套管接箍处断开，厂家依据井壁超声成像测井资料对该井进行了修复作业，使这口 1991 年完钻没有投入生产的井目前已正常生产。

(2) 冀东油田利用 RMT (C/O) 测井资料，提高了水淹层测井解释符合率，如 G60-35 井，常规裸眼测井没有解释出水淹层，而 RMT 测井识别出水淹层，并且给出了定量解释结果，该井射孔投产后，日产油 7.6t，日产水 32.2m³，含水 80.8%，表明 RMT 测井解释结论是正确的；通过利用 RMT 测井资料对 G3106 断块的整体情况有了进一步的认识，目前已经将开发方案调整到低渗层改造和分层配注上。

(3) 塔里木油田利用中子寿命测井取得显著效果，如 LN2-24-2 井于 1992 年 1 月投

产, 2000 年 8 月因油组结垢停喷, 停喷前日产油 13t, 产水 137t, 含水 91.4%, 2001 年 3 月对该井进行了中子寿命测井, 重新对油层进行了含油饱和度解释, 按解释结果对该井采取封堵、深穿透补孔等措施, 增油效果明显, 从 3~8 月, 已经累积产油 4000t。

(4) 华北油田、辽河油田利用注硼中子寿命测井资料指导井下措施取得明显效果。华北二连油田通过硼中子寿命测井资料分析, 认为阿 6-28 等 7 口井是因裂缝窜流而暴性水淹, 在长期关井后剩余油重新聚集, 具有较大潜力, 2001 年初对这 7 口井恢复生产, 日增油 99t/d, 综合含水只有 38.6%, 截至 10 月底, 累计增油 6819t, 预计今年年底将增油 9100t 以上, 恢复产能达 9600t 以上。辽河油田利用硼中子寿命测井资料对沈 67 块的剩余油进行了重新评价, 以此指导堵水作业, 也取得显著增油效果。

另外大庆油田在利用氧活化能谱水流测井技术进行套管漏失检测、玉门油田、长庆油田利用注产剖面测井资料指导水井合理调配和堵水措施等方面都取得较好应用效果。

2. 试井资料应用方面

在试井资料应用方面, 各油田都做了大量的研究工作, 从论文发布情况来看, 主要体现在以下几个方面:

(1) 大庆测试服务公司在应用脉冲试井资料确定地层的连通状况、地层是否存在断层(或断层是否密封)、报废井工程质量、堵水措施效果、注水井供水方向(或生产井来水方向)、隔夹层稳定性和密封性等方面, 进行了详尽阐述, 为油田增产增注等挖潜措施的部署、调整提供了科学依据。如大庆的南 3-2-丙 37 井, 根据脉冲试井资料的分析结果对临近的南 3-1-丙水 37 井进行了配注方案调整后, 提高了地层压力及油井产量, 见到了明显的开发效果。

(2) 吉林油田 1997 年以来利用试井软件平台处理解释 3050 井次, 利用解释结果, 在确定人工水力压裂措施效果、合理注采比、注水井配注方案调整以及应用分层测压资料指导挖潜措施效果等方面, 做了大量的分析研究工作, 取得显著的经济效益。如, 2001 年新立油田根据试井资料调整注水井方案 6 口, 有效井 5 口, 有效率 83.3%, 截至目前累计增油 344t; 又如, 今年吉林油田利用分层测压资料, 进行压裂、调剖、堵水措施的选井选层, 全年共施工 139 井次, 有效井 126 口, 有效率 92%, 合计增油 19468t, 占年总措施增产量的 9.8%, 见到了显著的开发效果。

(3) 大港油田在利用气井压力恢复资料认识井筒内相重新分布现象、分析地层平面非均质性、评价酸压措施效果、确定地层边界特征和边界距离以及计算地层压力等方面, 进行了深入的探讨, 为进一步认识油藏、评价油藏提供了科学依据。

另外, 大庆油田在利用不稳定试井资料评价压裂效果、新疆油田利用不稳定试井技术指导复杂气田开发、长庆油田利用压力监测井资料指导安塞油田开发调整、冀东油田利用弱脉冲干扰试井技术判断井间连通状况等方面也取得较好应用效果。

总体来看, 目前所测的各种测试资料在各种类型油气田开发中发挥了重要作用, 有的发挥了关键作用。但在多种测试资料综合应用及测试资料精细解释方面的文章和报告少一些, 大多都是单项技术的应用。

四、油田开发测试面临的挑战与今后发展方向

1. 油田开发测试面临的挑战

石油企业重组上市和中国加入 WTO 后, 整个中国石油行业都面临新的形势和挑战, 油

田开发测试也一样面临新的挑战,初步分析来看,主要有以下三个方面:

第一个挑战是测试的对象越来越复杂,测试难度越来越大,而测试技术准备相对不足。目前中油股份公司油田开发的基本形势,一是老油田,特别是东部地区老油田已进入高含水、高采出程度阶段,到2001年底,油田综合含水82.98%,可采储量采出程度70.70%,主力油田已处于产量递减趋势。地下剩余油分散,油水关系复杂,可成片钻加密调整井的区块越来越少,调整挖潜的难度增大,效益变差。二是新增探明石油储量品位下降,低渗透砂砾岩、裂缝型低渗透油藏、凝析油气藏、深层稠油及特殊油气藏增多。2000年新区产能建设动用储量 $25635 \times 10^4 \text{t}$,建产能 $557.6 \times 10^4 \text{t}$,其中低渗透和稠油储量 $15261 \times 10^4 \text{t}$,占59.53%,开采难度大,技术要求高。三是三次采油方法将在油田的深度开发中发挥较大作用,虽然目前三次采油的主体技术还不够明确,但可以预计,随着技术的发展和完善,今后各种三次采油方法将被越来越广泛地应用于各种类型的油田,用来提高注水开采后期原油采收率,而且所采用的三次采油方法将会是多元化的,如聚合物、化学复合驱、气驱、微生物、表面活性剂等。2000年大庆油田聚合物驱工业化生产区块已达14个,年产油 $939.65 \times 10^4 \text{t}$,占全油田总产量的17.7%。四是井眼方式向多元化方向发展,超深井、复杂井况井日趋增多,面对如此复杂的测试对象和开发需求,我们目前的测试技术进展显得相对滞后,还不能完全满足油田开发的需要。

第二个挑战是股份公司上市后,实施低成本发展战略,测试费用紧张,测试成本也要降低。股份公司上市后,各油田面临控制投资、降低成本的压力。开发测试作为油田开发的一项基础工作,对提高油田开发效益、降低成本及油田的可持续发展常常具有隐性和间接的作用,有时甚至在短期内,由于测试新技术的应用,可能造成成本的上升。有些采油厂在短期(通常一年)内成本的压力下,尽量减少不能在考核时间段内带来直接效益的测试项目,甚至有的油田出现能少测就少测,能不测就不测的现象。另外,由于受成本的压力,新测试技术的试验和应用也受到制约,很多油田基本维持目前的测试系列和工作量,不愿意尝试费用较高的新测试技术。

第三个挑战是中国加入WTO,测试技术服务市场全面开放后,我们的测试队伍面临国内外测试技术服务公司进入测试技术服务市场后竞争更加激烈的挑战,尤其是面临斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯等实力雄厚、技术先进的跨国技术服务公司的挑战。目前虽然大部分油田开发测试队伍在股份公司,而且又有油公司做强大的发展后盾,但是要看到,我们的测试队伍和力量分布很不均衡,目前中油股份公司各油田公司共有生产测井小队146个,大庆测试分公司就占了112个,占总数77%;共有试井小队163个,大庆测试分公司占了107个,占总数66.7%。另外,除大庆测试分公司外,其它油田测试队伍技术水平、装备和专业化水平都不如存续企业测试队伍,与国外测试技术服务公司的水平差距就更大。所以,在激烈的市场竞争中,我们的一些测试队伍可能就要被淘汰,剩下的队伍也必须要走专业化发展的道路。

2. 油田开发测试技术及其应用今后发展方向

在石油资源日趋减少、寻找与开发利用难度越来越大的今天,谁拥有领先的科学技术,并有效的投入使用,谁也就拥有了开发利用石油资源的主动权,谁就能在全球经济一体化激烈市场竞争中立于不败之地。近几年来在石油开发领域,世界上一些大的石油公司通过应用新技术,既降低了原油成本,又提高了石油产量,其中油田测试新技术的应用发挥了重要作用。如Exxon、Shell等公司,在他们开发的油田中,新测井系列占很大比例,他们认为,

新技术的应用最终会带来效益的提高,同时他们根据实际需要也出钱资助技术服务公司开展技术攻关(如 Exxon 公司与斯伦贝谢公司合作开发三维感应测井技术)。因此,我们应当借鉴国外做法,根据油田开发需要,与有关单位合作,攻克开发测试一批关键性技术难关,同时加强资料的综合分析应用,为提高油田开发的整体经济效益服务。

考虑当前油田开发形势和需要,今后测试技术和应用总体发展方向应为:紧密结合中国陆相沉积油气藏的非均质特点和油田开发的新形势,走创新发展道路,建立适合中国油气地质开发特点的测井和试井新理论、新方法、新技术和新仪器,并逐步形成各类油藏优化配套测试系列,为控水稳油和提高原油采收率服务。具体应在以下几方面加强攻关:

(1) 高含水 and 低渗透油藏剩余油饱和度及其分布测试技术与解释方法。

一是发展套管井中剩余油饱和度测井技术:发展中子组合测井(超热中子碳氧比测井和热中子的中子寿命测井)、套管井地层测试器、过钢套管和玻璃钢套管电阻率测井技术。二是开展利用生产测井和试井资料估测储层剩余油饱和度方法研究。

(2) 高分辨率注、产剖面测试技术与解释方法。

注水剖面测井:在进一步改进示踪注水剖面测井基础上,开展其它新方法研究,发展新组合测井。

产出剖面测井:研制高精度、高分辨率“找水仪”,特别是高含水、低产液剖面高精度测井仪器。

解释方法:开展三相流产出剖面测井解释新方法研究。

(3) 高温高压井、超深井测试技术与解释方法。

(4) 分层测试技术与解释方法。

开展分层流量、压力、持水率等参数测试新方法、新工艺研究,研究低渗透、稠油、聚合物驱等非达西流油气藏及复杂油气藏试井解释方法,加快数值试井分析解释方法研究和软件开发速度。

(5) 非直井及复杂井况井测试技术与解释方法。

主要针对水平井、出砂井、电潜泵井开展注采剖面测井和试井新技术、新工艺、新方法研究。

(6) 井间测试技术与解释方法。

开发新型、高效、无污染多种井间示踪剂,开展多井试井解释方法研究,积极开展井间地震、井间电磁波现场试验及施工设计和解释方法研究。

(7) 套损和水泥胶结质量定量检测和显示技术。

(8) 开展永久式井下压力、流量、持水、温度等测试新仪器新工艺研究。

(9) 完善测试数据库和分析应用软件,实现网上资源共享。

在配套技术及其应用方面,应主要开展以下几方面工作:

(1) 高含水油田优化配套测试系列及其应用研究。

(2) 低渗透油田优化配套测试系列及其应用研究。

(3) 稠油油藏,特别是高温、高压油藏优化配套测试系列及其应用研究。

(4) 三次采油油田优化配套测试系列及其应用研究。

(5) 气藏优化配套测试系列及其应用研究。

(6) 特殊油气藏和复杂油气藏优化配套测试系列及其应用研究。

国外生产动态监测技术发展趋势

郑 华 张同意

(大庆油田测试技术服务分公司)

摘 要 本文就国外目前生产测井技术、开发试井技术的发展趋势做一简要的介绍,旨在通过对国外技术的了解,能够对我国油田开发动态监测技术的发展起到一个借鉴作用。

一、生产测井技术

国外传统的生产测井仪器测量自然伽马、磁性定位、流量、持水率、密度、井温、压力等参数,应用对象定位在大流量和低含水率油井方面;新技术多为适应大斜度和水平井测井而研发,这种井中流动成像是一种有效的手段。在监测含油饱和度及地层压力变化方面,国外主要采用测量 C/O 和中子寿命的脉冲中子技术和测量地层压力及对地层流体取样的模块化地层测试器,过套管地电阻率测井已商业应用。在仪器的响应机理方面,国外测井公司有独到的技术创新性。

(1) 光电响应在仪器传感器上的应用。

斯伦贝谢光学探针传感器 GHOST 的测量原理是,油、气、水泡对入射的光线分别有不同的反射率,其中气泡的反射率最高,油泡次之,水的反射最低,通过反射光的强弱来测定各相持率。传感器设计为细小的光学探针状,四个探针分别安装在仪器的四个扶正臂上,可在不同完井和斜井条件下对气泡进行探测。GHOST 可配生产测井快速平台 PSP 测井。

(2) 电性响应在过套管测地层参数上的应用。

在套管井含油饱和度测量方面,过去主要依赖脉冲中子测井技术,这类测井探测深度浅,且仅能在中等以上孔隙度地层中有效使用。随着电子技术的进步,与过套管测量地层电阻率相关的大量设计和测量难题已被解决,斯伦贝谢的 CHFR 和贝克阿特拉斯的 TCR 是新推出的过套管地层电阻率仪,可以用于寻找未动用油气、跟踪油藏流体饱和度的变化以及油藏流体界面的运移情况。测量的方法可以理解为跟踪电流从下井仪流出,流经的路径以及最后到回路电极的全过程。电流电极和套管内壁接触,一部分电流沿套管流动,另一部分流入地层。测试分两步,第一步测量泄漏到地层中的电流造成的电压降和套管上电压降之和,第二步测定套管电阻率造成的电压损失。仪器纵向分辨率为 0.6~1.2m,探测深度可达到 2~10m,定点测量的测井速度相当于 10m/h。

(3) 核技术在产出剖面 and 地层参数测井中的应用。

中心测量型密度计在大斜度井中应用受限, Sondex 的持气率计 GHT 采用全井眼测量方法解决了这一问题。低能射线从仪器中辐射出来,经井筒内流体散射,部分可被仪器中的伽马探测器接收到,接收射线的强度反应了井筒内流体密度。

早在 1991 年,斯伦贝谢开始应用脉冲中子氧活化方法 (WFL) 测量水流速度,通过测

量时间谱, 计算被活化的水流从中子源流到探测器的时间。近年, 为了在多相流中应用这项技术, 该公司又开发了 FVL, 分别用可被活化的水溶和油溶标记物来测量水流和油流。哈里伯顿新推出的能谱水流仪 SpFL 是新一代氧活化测井仪, 可进行连续和脉冲氧活化测量, 还通过记录能谱来区分水流与仪器的距离。在多水流条件下, 可以测量出上下水流, 不用寻找零流量层段进行刻度, 能更准确地判断是否存在管外窜流。SpFL 测量水流速度范围是 3~200ft/min, 精度为 2ft/min, 径向可探测范围是 8~12ft, 纵向分辨率为 24ft。

脉冲中子测井, 包括 C/O 测井和中子寿命测井, 是目前在套管井中评价储层含油饱和度的最有效办法, 国外的发展趋势是缩小仪器直径、采用高效晶体和多个探头, 以及一支仪器兼容多种测量功能。哈里伯顿的 RMT 仪器直径 54mm, 采用双 BGO 晶体, 具有三种测量模式。在 C/O 模式下, 仪器不但提供用于解释含油饱和度的 C/O 和 Ca/Si 比值, 还提供地层俘获截面、孔隙度指数和氧活化、硅活化计数。仪器还有优先测量中子俘获截面的 TMDL 模式以及测量水流速度的 SpFL 模式。贝克阿特拉斯的 RPM 仪器直径 43mm, 也具有双探头, 且具有更丰富的工作模式。

(4) Radon 公式奠定了成像测量理论基础和计算的数学基础。

流动成像测量实质是运用一个物理可实现系统来完成对被测物场某种特性分布的 Radon 的变换和逆变换, 是属于非均匀介质动态的非线性测量。目前比较通用是采用电容法、电导法和电磁法来实现敏感器的空间阵列测量探头, 通过计算机信息处理技术和图像重建法, 解释井内流体分布状态及流动变化特征。

康普乐的产出流体成像仪 PFI 是一种电导率探针成像测井仪。仪器下部有三个电导率探针, 通过电机驱动, 探针支臂可以与仪器主轴成 6 个角度, 因而共可以采集到某一套管截面上 18 组数据, 给出该截面上持率成像平均结果。Sondex 的产出剖面成像仪 CAT 是一种电容成像测井仪。仪器在井眼内居中, 仪器的扶正臂上有 12 个特殊设计的微型电容电极, 使用层析成像方法快速成像。CAT 的缺点是对高含水率并不适用。

贝克阿特拉斯的多电容流量计 MCFM 是一种应用于大斜度井和水平井的生产测井传感器阵列。该仪器上有一个可与主轴成一定角度的平板侧翼, 侧翼上有 6 组电法传感器, 每组传感器包含有 2 至 4 个电容或电导传感器电极。通过这些电极, 可以得到套管内截面不同位置的持率信息, 还可以通过相关测量方法给出油、气相流速。

(5) 模块化设计在套管井地层参数测试上的应用。

在地层流体取样和压力测量方面, 斯伦贝谢开始使用新一代模块化套管井地层动态测试器 CHDT。它可以在套管内重复测量地层压力, 对所获取的流体进行光学和电阻特性分析。工作模式是以钻眼的方式建立测试通道, 其通道的直径约 6mm, 穿深为 150mm, 通过以泵入和泵出方式, 获取真正的地层流体, 测试后仪器能够将测试前所钻孔眼进行封堵, 封堵后的套管壁能双向承压 10000psi 的压力, 有效地保证了套管的完好, 不影响油井的正常采油状态。它的主套用于寻找遗漏的潜力层、二次采油地区监测地层压力和泻油能力评价。

二、开发试井技术

随着油田注水开发以及一些特殊类型油气田的开发, 油藏的非均质性、多相流体、多井干扰和多层的影响, 给试井技术带来了新的挑战, 国内外应对措施主要体现在以下几个方面:

(1) 试井仪表上, 由机械压力计向电子压力计发展, 由浮子流量计向电子流量计发展。

井下试井仪器是试井技术中的一个重要组成部分,由于井下仪器质量的好坏和精度的高低,对试井资料的录取质量起着至关重要的作用,因此井下仪器越来越受到试井工作者的重视。

目前,国内外已普遍应用高精度电子压力计和电子流量计,但国内机械压力计、浮子流量计还在现场应用。在今后的应用中,应扩大电子压力计和电子流量计的使用规模。

(2) 试井工艺上,由单层单一参数向多层多参数测试发展,由井口关井向井底关井发展。

应该说,大庆油田的试井走在了世界前沿,经过 40 年的开发实践,已形成一整套较为完善的油田开发系统,大庆油田分层开采技术水平已居世界领先地位。综观试井工艺的发展历程,在油田开发初期,提出了以“五定”测压方法为代表的一大批试井工艺方法,并在全油田推广应用,这些试井工艺方法为油田开发提供了许多宝贵的试井资料,在油田开发中发挥了较大的作用。随着油田注水开发的深入和油井大面积转抽、三次加密和三次采油方式的实施,这种所谓的单相、单层和单井为开发模式的“三单”油藏状况变得更为复杂,实际上已变为一个多井、多相和多层系统的油藏,原来那种工艺较简单的笼统测压方式已不能满足油田开发的需要。由于试井对象的改变,对试井工艺的要求也有所不同,为了更经济、合理、有效地开发油田,试井工艺正逐步从采油井试井向注水井试井方向发展,由原来的笼统测试向分层测试方向发展,这就为油田试井工作者提出了新的课题。既要保证录取到油藏工程师们所需要的试井资料,又要使试井工艺简单、实用、测试费用低廉。通过广大试井工作者的努力,试井工艺技术的发展取得了较大的进步,尤其是长期困扰我们的生产井分层测压技术,通过几年攻关,已取得突破性进展。

对注水井来说,偏心配水管柱注水井测试工艺技术配套,但技术不够先进;偏心桥式配产管柱注水井测试工艺技术常规、配套,但技术不够成熟;同心集成式细分注水井测试工艺技术先进、配套,较为成熟。但目前存在的最主要问题是缺少一套科学、合理的流量调配方法来指导现场测试,如何科学、合理地选配水嘴,提高调配速度和质量,减少工人的劳动强度,是摆在我们面前急需解决的问题。同样,今后管柱和试井工艺的研究方向是博众家之所长,既要使井下工具和测试仪器集成化程度高,资料真实、准确,又要减少投捞次数,减轻测试劳动强度。同时,拓宽测井范围,进一步研究适合高温、高压注水井的试井工艺方法。

采出井根据其举升方式和采出流体的不同,可分为抽油机井、电泵井、长期关停油井、螺杆泵井,聚合物采出井和三元采出井。抽油机井已有分采管柱,可录取到分层段压力资料,但技术还不配套;电泵井无分采管柱,只能测取全井压力;长期关停油井已研制开发了分层测试管柱,也可录取到分层压力资料,由于测试对象为一长期关停的油井,分层流量难以获得,因此所测压力资料将如何正确解释是今后需要研究解决的问题;螺杆泵井(空心抽油杆)原来一直无法实测压力,现在也有了一套实测全井压力的工艺方法;聚合物采出井和三元采出井无分采管柱,但可录取全井压力资料。

目前,多井试井主要有脉冲试井和同井层间干扰试井及示踪剂试井,井间脉冲试井主要有两种测试方法,一是测试井关井(主要是新井、电泵井等)录取脉冲试井资料,二是测试井不关井(主要是抽油机井)录取脉冲试井资料,测试工艺问题已基本解决。同井层间干扰试井工艺已比较成熟,示踪剂试井技术已在油田应用,技术也较成熟,但测试费用较高。多井试井工艺技术比较简单,也比较成熟,但在资料解释方法和应用上,尤其是资料的应用方面,还需要加强资料应用的研究力度,以拓宽多井试井资料在油田的应用领域,为油藏工程

师们更好地进行油田动态管理提供依据。

(3) 试井方法上, 由单井单层向多井多层发展, 由依赖直线段的解释方法向不依赖直线段、数值试井和神经网络试井发展。

常规试井分析方法和现代试井分析方法, 目前仍被广泛采用。对于复杂试井问题, 没有有效的参数估计方法。采用模拟检验手动调参实现典型曲线拟合, 获得油藏参数值。自动拟合分析方法因稳定性、收敛性以及局部最优问题在实际应用受到很多限制。试井分析的智能化方法仅停留在试井解释模型的自动识别方面。识别试井解释模型的人工智能和人工神经网络方法, 目前仍以理论研究为主, 未能得到广泛应用。

从试井分析理论到试井分析方法, 尚存在许多需要解决的问题。对试井分析方法来说, 模型识别和参数识别的多解性因素较多, 各种解释方法本身也存在不完善之处。常规试井分析方法, 要求测试资料必须出现径向流, 不能分析近井和井筒的特性, 且存在多解性。现代试井分析方法, 复杂试井问题的参数估计难度大, 多解性强, 拟合的准确性差。自动拟合分析方法, 稳定性、收敛性和最优解难以保证。智能分析方法, 仅研究试井解释模型的识别问题, 人工智能方法知识提取的过程过于复杂。而神经网络方法的收敛速度和识别能力较差, 目前以理论研究为主, 距实际应用尚有距离。而目前发展起来的数值试井解释技术对解决油藏非均质性、复杂内外边界、邻井影响等实际问题具有很好的实用性, 数值试井解释技术是在对油藏进行数值化描述的基础上、对流体在多孔介质中的渗流方程进行数值求解的方法。它以地质研究成果为基础, 建立实际油藏条件的油藏描述, 从而对油藏中压力响应进行切合油藏实际的描述, 使试井解释结果最大限度地符合实际生产动态, 但该方法距离实际应用还有差距。

随着油田开发的进行, 出现了许多急需解决的试井问题, 如抽油井的试井分析、聚合物试井分析、多相流试井分析等。随着油田开发的继续, 将会面临更多新的试井问题, 试井问题数学模型的建立及求解越来越困难, 试井分析的难度越来越大, 传统的试井分析方法面临新的挑战。

具体地说, 主要体现在以下几个方面:

- (1) 地层压力的评价方法亟待统一;
- (2) 多井试井解释方法需进一步完善;
- (3) 多层多相流试井解释方法需进一步提高;
- (4) 三次采油试井方法不成熟;
- (5) 非均质及不出直线段资料的解释方法有待提高;
- (6) 数值试井、神经网络试井等技术需进一步研究;
- (7) 与数模、地质统计、油藏精细描述结合的不够;
- (8) 气井试井解释方法有待研究。

试井技术作为认识油藏, 进行油气藏评价和生产动态监测的重要手段, 已经历了 60 多年的发展。其服务的范围已跨越了油气田勘探和开发的全过程。与岩心分析和测井解释结果对比, 试井得到的有关油藏参数代表着油藏的动态特性, 只有试井才能确定生产条件改变和工艺措施后引起的地层渗透率变化和油井产能的变化。因此, 试井对评价井的产能、求取地层参数、评价井下措施效果等方面都是不可少的。通过试井可以促进对油藏的深入认识, 从而达到改善油田开发效果和提高经济效益的目的。但与测井资料相比, 试井资料在油田开发中的应用效果一直不理想。主要原因之一就是试井解释技术的发展落后于油田开发。现有的