

极大储层接触技术研究进展及发展方向

张卫东¹ 李国栋² 袁文奎¹ 李凤琴³

(1. 中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大庆钻探工程有限公司 钻井六公司, 吉林 松原 138000; 3. 中国石油渤海钻探工程有限公司 井下作业分公司, 河北 任丘 062552)

摘要:随着最大储层接触技术(MRC)的成功应用,极大储层接触技术(ERC)又提上了研发日程。沙特阿美石油公司通过与其他石油及服务公司合作,在 ERC 技术的研究方面进展顺利。ERC 井是一种智能化多分支井,它不需要从井口到每个分支井眼或油气层的单独控制线缆,因此,从理论上讲,可以允许主井眼有无限多的智能分支井眼。通过跟踪沙特阿美公司 ERC 技术的研究进展,对 ERC 技术的提出、研究现状、关键技术及未来的发展方向等做了介绍。ERC 井中的许多关键模块,如新型传感器、连接器系统、电能产生器以及各种流动控制阀等,已经从概念描述进入到实验室测试阶段。目前研发的关键是井下电磁感应、井下能量生产、主井眼和分支井眼之间的无线通信等技术。ERC 技术未来将向可回收式智能完井系统、多分支进入系统及仿生井等技术方向发展。

关键词:极大储层接触技术; 最大储层接触技术; 现状; 发展趋势

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2010)03-0112-05

随着石油科技的飞速发展,向着智能化、自动化发展的趋势越来越明显。多分支井技术作为 20 世纪 90 年代发展起来的新型技术之一,在各大油田得到了广泛应用,但在应用过程中也出现了相应的问题。沙特阿美公司作为石油行业高新技术应用的倡导者和实践者,在不断完善最大储层接触技术、智能井技术的基础上,提出了极大储层接触技术,并进行了从实验室研究到现场应用的一系列工作。为对我国的石油钻井技术的发展有所启示和借鉴,笔者对极大储层接触技术的研究进展进行了概括说明,详细介绍了其关键技术,并对未来的发展趋势进行了预测。

1 极大储层接触技术的提出

随着全球对油气资源需求的不断增加,石油行业需要不断推出先进技术来提高原油采收率,并降低复杂油藏的开发成本。而随着复杂井钻井技术变得相对简单,需要特别关注复杂井的完井技术。对现有完井设计的完全监测和控制,及对油藏驱油效率最大化的需要,推动了更先进的完井设计和构建的发展。

极大储层接触技术(extreme reservoir contact, ERC)的概念源于最大储层接触技术(maximum reser-

voir contact, MRC)。ERC 被认为是石油行业未来的八大技术之一^[1],代表了 21 世纪石油技术的发展方向,它是一种不需要从井口到各个分支或层位的单独控制线缆,理论上可以允许有无限多口分支井的智能井^[2]。

目前,在石油完井中得到推广应用的,最先进的莫过于 MRC 技术。MRC 技术是在定向井和水平井基础上发展起来的一种钻井新技术,是指在一主井眼(直井、定向井和水平井)中钻出若干个进入油气藏分支井眼的技术,它可以从一个井眼中获得最大的总水平段长度,在相同或不同方向上钻穿不同深度的多套油气层^[3]。

MRC 井是一种智能多分支井,其通过主井筒的许多分支井与油藏的接触长度超过 5 km。这种井在油藏驱替方面非常有效,特别是由于增加了

收稿日期: 2010-02-02; **改回日期:** 2010-03-26

基金项目: 中国石油华北油田分公司 2007 年院所合作科技项目“勘探开发前缘技术研究”(编号: HBYT-YJY-2008-JS-6)部分内容

作者简介: 张卫东(1968—),男,山东平阴人,1990 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,2002 年获油气井工程专业工学硕士学位,副教授,硕士研究生导师,主要从事石油天然气工程方面的教学与研究工作。

联系方式: (0532)86981150, zhangweidong10@sohu.com

分支井的数量(在分支井是按驱替最优化条件设计的前提下)而使产能极大提高,对致密、非均质油藏产能的提高更为明显。例如,沙特石油公司的哈拉得Ⅲ油田 32 口智能 MRC 井的产能达到了 300 000 桶/d^[4]。

然而,这些井的不足之处在于,对每口井而言只能有有限的智能分支井,因为每口分支井都需要机械式控制线缆与井口相连。控制线缆可以是水力的也可以是电力的,但其数量有上限,为 8~10 根,实际应用中可能是 5~8 根。在能够实现每个分支井眼地面控制的前提下,这也就意味着

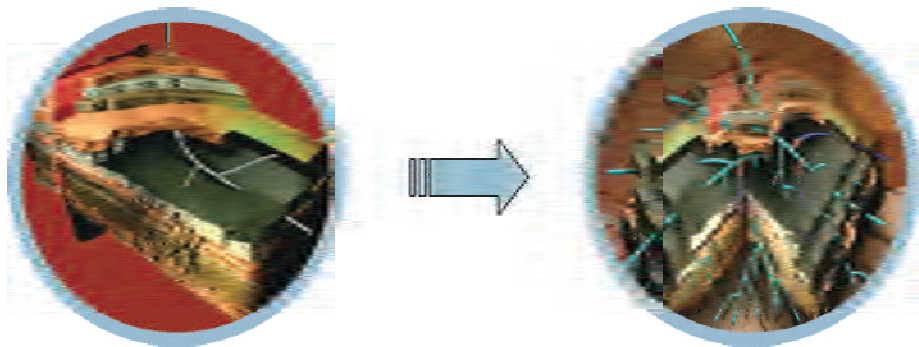


图 1 MRC 井(左)与 ERC 井(右)

2 研究历史及现状

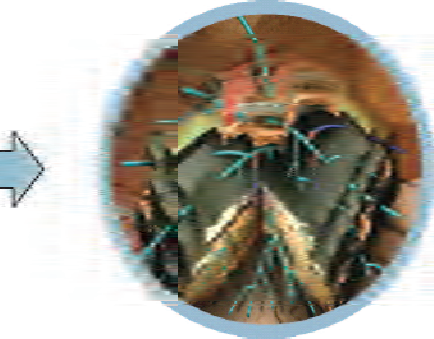
目前,国外石油公司正积极研究 ERC 技术,而国内在这方面还是空白。国外石油公司中,沙特阿美石油公司是研究 ERC 技术的先行者^[5]。

ERC 技术是基于 MRC 技术提出的,而且两者都是智能多分支完井,只不过 ERC 井相对于 MRC 井而言更加智能,因此要研究 ERC 技术的发展史就要追溯到 MRC 技术的研究上。

由于水平井能够增加产能、提高采收率,所以沙特阿美石油公司在 20 世纪 90 年代将其作为常规井的替代井进行应用。由于其油藏储层性质较为适合,沙特 Shaybah 油田是最早应用水平井技术的油田之一。1996 年,Shaybah 油田完成了第一口水平井,该井为 1 km 长的单分支水平井。随着应用的深入,该技术显示出了非常好的效果。

这些水平井的成功实施导致了 MRC 井概念的产生。沙特地区 MRC 井的第一次应用是在 2002 年,也是在 Shaybah 油田,在那里钻成了第一口 MRC 井——油藏最大接触长度达 8.5 km 的 SHYB-A 井,它是一口三支井。该井与另外两口油藏接触长度分别为 5.8 km 和 12.3 km 的 SHYB-B 井和 SHYB-C

MRC 井最多只能实现 5~8 口分支井。在这种背景下,提出了 ERC 的概念。由于 ERC 是利用无线通信技术而不是线缆的方式对分支井眼进行控制,因此其理论上可以利用无限多的分支井来对复杂的隔离油层进行优化采油和连通。最近,已经实现了用无线通信代替水力管线来控制井下阀门,利用一个井下控制模块向每一个控制阀发射无线指令,这样就可以将机械控制管线去掉,而使每口智能井的分支井的数量以及每口分支井中阀的数量在理论上不受限制。MRC 井和 ERC 井如图 1 所示^[1]。



井均采用裸眼完井。

MRC 井的应用表明,在低渗透地层,MRC 井比油藏接触面积有限的水平井的产能更高。2002 年至 2007 年,Shaybah 完成了 50 口多分支井。随着 Shaybah 油田应用 MRC 技术取得成功,以及 MRC 井完井经验的积累,包括 Abqaiq 和 Ghawar 在内的其他碳酸盐油田开始考虑应用 MRC 井。过去 4 年里,在 Shaybah 油田一个综合的修井项目中,通过使用 MRC 完井,100 多口水平段长 1 km 的井的产能得到了提高。超过 25 口井被有效地从 1 km 单分支井眼改造为多分支/MRC 井。这些井中膨胀式衬管的成功安置,使平均含水率由 12% 降至 3%,从而增加了油藏接触面积,进而提高了总产能。除此之外,那些由单分支水平井改造成 MRC 井的井减少并控制了气体的产出。

虽然 MRC 技术大大提高了原油采收率,但由于存在前面所述问题,ERC 技术的研究被提到了议事日程上。沙特阿美公司通过与其他石油公司及服务商合作,在 ERC 技术的研究方面进展顺利。包含新的传感器、连接器系统、电能产生器以及不同类型流入控制阀(inflow control valve, ICV)等关键模块已经从概念阶段进入到实验室测试阶段,最早的试验模块已经于 2009 年中旬投入使用。目前,投资者开始

准备一项增量式现场试验项目,使后来每一次的现场应用渐渐包含更多的装备和更复杂的模块。该试验项目将在 2009—2010 年开展,商业化 ERC 系统预计将在 2011 年投入使用。

3 极大储层接触关键技术

在 ERC 技术的研究开发过程中,面临着大量的难题。其中,主要的难题是主、分支井眼间的通信和井下能量的供应。

3.1 主井眼和分支井眼之间的无线通信

无线通信的优势是可以不借助任何主井眼和分支井眼之间的物理接头来传输指令和监测数据,利用电磁感应就可以实现。电磁感应不需要任何电线接头以及与井中流体之间的表面接触,其原理跟变压器的电感耦合器类似,在低部完井部位装有一个阴性耦合器,同时在上部完井部位有一个配对的阳性耦合器,能量在两个耦合器之间通过交流产生的电磁波场进行传播。这种带有可靠电源供应系统的通信系统,能够实现多分支井眼的远程控制,如图 2 所示。根据沙特阿美公司网站的最新报道,该公司已经研究开发出了一种利用无线电频率发射器和接收器的新型通信系统,将这一数据、命令无线传送系统应用到发动机上就能将电信号转换为水力能量^[6]。

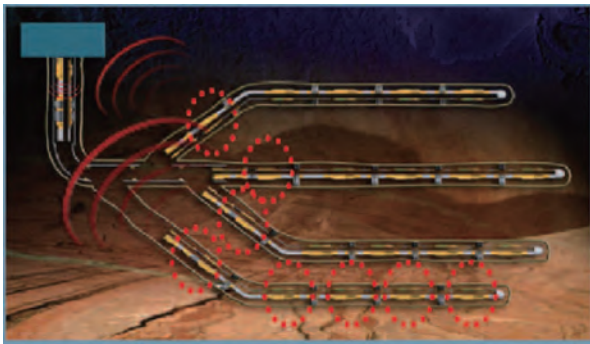


图 2 主井眼与分支井眼之间的无线通信示意

3.2 井下能量的产生

先进的技术能够将流体的能量转换为有用的电能,从而能够实时驱动诸如传感器、流动控制阀(flow control valve, FCV)等电力设备。涡轮发电机(如图 3 所示)被认为是未来 ERC 技术应用中的可选装置,其优势是能够位于井眼的深处,可回收,并能解决井眼内空间不足的问题;其面临的困难是,要提高其长期的工作稳定性,并解决关井期间能量

来源的问题。根据沙特阿美公司网站的最新消息,该公司已经成功开发了一种新的井下发电技术,能够在损失很小压降的情况下,将流体的动量转化为电能^[6]。



图 3 不同类型的井下涡轮发电机

此外,如何实现对各分支井眼中流体的流动控制也十分关键,需要开发一种新的流动控制装置,以摆脱从地面对井下每一个 FCV 单独控制的需要。

ERC 井在“无限”增大储层接触面积的同时也会产生一些问题。常规井的产量一般是通过调节地面井口节流阀来控制,通过减少高含水情况下的产量来提高总产油量,而且容易受水锥的影响。但对于一口 ERC 井来说,这些简单的措施并不奏效,因为井与储层的“无限大”接触面积必将会带来储层产油的不均一性。由于下面的原因还可能会出现过早的水侵或气侵:1)储层渗透率不均一;2)井壁与流体面接触距离变化;3)多分支井眼进入储层的不同区域,造成储层压力不同。解决这些问题,要利用到流入控制技术^[7]。

智能自适应控制装置的出现对流体的流入控制有较好的效果。它能够根据进入流体的相态组分自动到达预定位置,然后动态反应来改变井况。该装置可以用在电源/水力连接都行不通的主井眼和分支井眼中。沙特阿美石油公司正在与其他公司合作开发自适应型 ICD,它可以响应水流,动态地控制流体流动。自适应型 ICD 如图 4 所示。

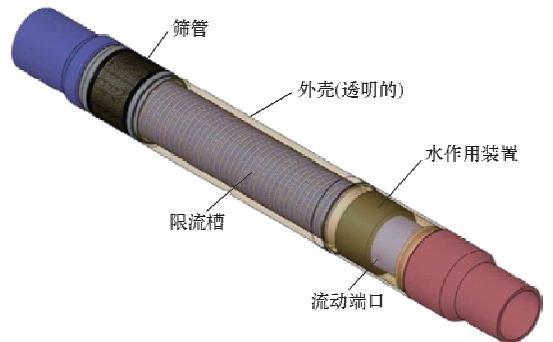


图 4 自适应型 ICD 示意

4 未来的发展方向

现在,沙特阿美公司的下属部门 Expec Ercerc 在继续攻关 ERC 技术,许多模块已完成实验室测试,准备应用到现场试验中,目前有些模块已经到了 ERC 井现场部署计划新阶段了。目前,可回收式智能完井系统,多分支进入系统和仿生井技术是研究热点。

4.1 可回收式智能完井系统

可回收式智能完井系统中包括裸眼封隔器、控制系统和监测系统,该系统可将原来不可回收的智能系统回收再利用。通过智能系统完成套管部署,将会使现存的多分支井变为智能完井。目前正在开发可以无限次安置可回收式智能完井系统的技术,该技术包括井下控制、测量和层位分隔等系统。

4.2 多分支进入系统

多分支进入系统由机器人工具装备,来定位和进入井下分支井眼。传统方法是,井眼与多分支井眼的连通需要安置一个造斜器或一个类似的设备来引导电线或连续套管工具进入需要的分支。而 Expec Arc 与其他公司正在合作开发的一项技术将改变分支井眼的常规做法,其中之一是开发井下牵引器的一个扩展部分,它由带有先进

传感器的机器人和能确定并进入井下分支井眼的软件组成。一旦确定了分支井眼的位置,将由一个定向接头向分支方向旋转,达到预定位置后,地面上的操作者重新开动工具管柱,即能将其移入选定的分支中。

4.3 仿生井技术

一棵树的树根会寻找土壤中湿润的地方,在那个地方长出一个分支来,然后去掉那些在干枯土壤中的分支,在另一个地方长出新的分支,未来的仿生井就是如此工作的,只是它寻找的是油而不是水。一旦钻好垂直井眼后,井将会“按自己的方式生长”。一个智能的分支会延伸到一块含油区域,一旦该区域水淹后,就将这个分支“砍掉”,并在另一个含油区域“长出”另一个分支^[8]。

尽管要实现这一技术目前看来还不很现实,但已经取得了一些成就^[8]:从直井开始,钻水平井,再钻多分支井;这之后,再装上智能井下控制阀,就能够堵住某些分支,将它们有选择性地去掉,然后再加入井下监测和地面控制装置,来分析油藏流体的性质,预测水侵。仿生井与树根的对比如图 5 所示:仿生井(上)就像一个树根(下),从一个简单的直井(a)开始演化,到水平井(b),到多分支井(c),到具备去掉某些分支的能力(d),再到能够分析及向地面传输流动和流体信息(e),到最后成为一口像真正的树根一样的有很多智能分支的井(f)。

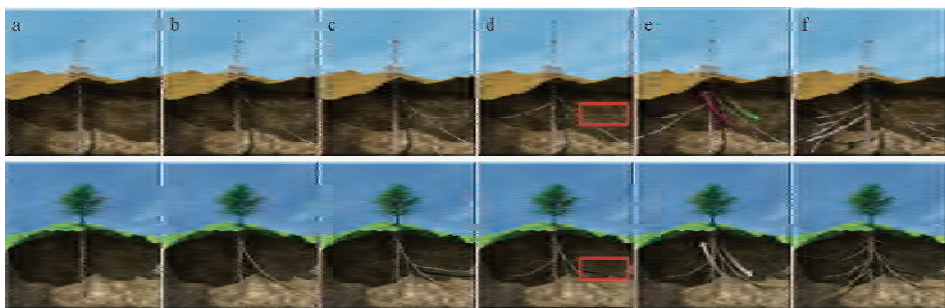


图 5 仿生井与树根极为相似的“生长”过程^[9]

仿生井中目前首先要提高的技术是“自动钻井”。当然,该技术并不容易实现。但连续油管钻井技术、水射流钻井技术都已应用于现场,而且其他的如激光钻井技术正在研发中,所以相信这是一个不错的开始。这些井将采取裸眼完井,带有黏弹性的而不是机械式的井下阀。这样的话,一旦它们跟释放的化学剂(它们与特定的阀相匹配)反应,这些井将会改变流体的流动来开井或关井。另外,值得一提的是,挪威的 Badger Explorer 公司正在研制和试

验的獾式钻探器将能够实现真正的自动钻探,虽然现在还处于全尺寸样机场试验阶段,但有望在未来 5 a 内投入商业化应用^[10]。如此,必将使仿生井技术飞跃发展。

5 结论与建议

1) MRC 技术向 ERC 技术的发展是油田开发过程中的必然方向,“科学技术是第一生产力”这一

论断在石油行业尤为适用。当油气资源的开发环境越来越严峻、开发条件越来越苛刻时,高新技术将发挥越来越重要的作用。

2) ERC 技术作为一种高度集成、综合化的技术,需要多学科、多领域的专家进行合作,需要不同背景的公司进行相互的技术支持,该研究方式在国外已经非常普遍,国内也很有必要采取该研究方式。

3) 国外在推出了智能井、MRC 技术以后,又在推动 ERC 技术向成熟方向发展。我国的科研院所应该在跟踪国外先进技术的基础上,加大该方面的基础研究,参与到概念阶段的研究中去,完成从模仿到自主创新的跨越。

参 考 文 献

[1] Saggaf M M. A vision for future upstream technologies[J]. JPT,2008,60(3): 54-55,94-98.
 [2] Saudi Aramco. Extra-smart wells to be developed[J]. Saudi Aramco Dimensions,2007(spring):33.
 [3] 江怀友,同存章,胡永乐,等.世界油气 MRC 技术及中国油田开发应用模式研究[J].中外能源,2007,12(6):31-38.

[4] Saleri N G, Al-Kaabi A O, Muallem A S. Haradh III: a milestone for smart fields[J]. JPT,2006,58(11): 28-33.
 [5] Abdullah M, Qahtani, Hiba Dialdin. Future advanced completion technologies to maximize recovery[R]. OTC 20136, 2009.
 [6] Saudi Arabian Oil Co. Taking ERC wells to new extremes[EB/OL]. [2010-02-01]. [http://www.saudiaramco.com/irj/portal/anonymous? favlnk = % 2FSaudiAramcoPublic % 2Fdocs % 2FNews + Room % 2FNews % 2FTechnology & ln = en # clr = N & lang = EN & category = Technology & month = & year = & page = & lnchPath =](http://www.saudiaramco.com/irj/portal/anonymous?favlnk=%2FSaudiAramcoPublic%2Fdocs%2FNews+Room%2FNews%2FTechnology&ln=en#clr=N&lang=EN&category=Technology&month=&year=&page=&lnchPath=).
 [7] Al-Khelaiwi F T, Birchenko V M, Konopczynski, et al. Advanced wells: comprehensive approach to the selection between passive and active inflow control completions; IPIC 12145: proceedings of the interational petroleum. Technology Conference, Kuala Lumpur, December 3-5, 2008[C].
 [8] 张卫东,袁文奎,田克忠.未来石油勘探开发技术展望[J].石油钻探技术,2009,37(3):118-123.
 [9] Dhafer A, Al-Shehri, Zhou Shaohua. Bionic wells: science imitates nature again[J]. Saudi Aramco Journal of Technology, 2008(Spring): 10-14.
 [10] Badger Explorer ASA 2007. Information about Badger Explorer ASA-exploration at lower risk, cost and complexity [EB/OL]. [2010-02-01]: <http://www.bxpl.com>.

Research and Development of Extreme Reservoir Contact Wells

Zhang Weidong¹ Li Guodong² Yuan Wenkui¹ Li Fengqin³

(1. College of Petroleum Engineering, China University of Petroleum (East China), Dongying, Shandong, 257061, China; 2. 6th Drilling Company, Daqing Drilling & Exploration Corporation, CNPC, Songyuan, Jilin, 138000, China; 3. Downhole Service Company, Bohai Offshore Drilling & Exploration Engineering Corporation, Renqiu, Hebei, 062552, China)

Abstract: With the successful application of Maximum Reservoir Contact (MRC) wells, the development of Extreme Reservoir Contact (ERC) wells is being investigated. By cooperating with other oil and service companies, Saudi Aramco made some progress on ERC, a kind of smart multilateral well which the control lines from wellhead to each lateral are not required, thus theoretically it may have unlimited laterals. This paper introduces the background of ERC well, it's research status and key technologies, and developing direction. A lot of key modules of ERC well, including new sensor, connector system, power generator, and different types of inflow control valve, have entered laboratory testing from concept. Currently, the key technologies needed for development include downhole inductive coupling, downhole power generation and wireless telemetry between motherbore and laterals. The development future of ERC wells is retrievable smart completion system, multilateral accessibility system, and bionic wells.

Key words: maximum reservoir contact; extreme reservoir contact; status quo; developing trend

中油测井研制成功新型取心电子选发器

爆炸式井壁取心是目前油田勘探开发领域应用最为广泛的取心方法之一。针对取心作业电子选发器存在的耐高温和抗震性能较差的问题,中油测井成功研制了新型高温抗震电子选发器。近日,该选发器在 175℃ 恒温条件下正常工作超过 2 h,并保持性能稳定。目前,该选发器已经投入现场取心作业当中。