

文章编号:1008 - 2336(2008)03 - 0042 - 04

油藏数值模拟技术在海上油(气)田开发中的作用

李久娣

(中国石油化工股份有限公司上海海洋油气分公司研究院,上海 200120)

摘 要:油藏数值模拟技术在我国运用已久,但其在油(气)田开发中的作用一直以来存在争议。相对于陆上油田开发,海洋油田的开发具有投资大、风险高、钻井少、资料数据相对有限的特点。通过多年利用包括油藏数值模拟方法在内的多种油藏工程方法进行海上油(气)田整体开发方案研究、开发方案调整研究、动态跟踪研究、剩余油(气)分布研究以及参与储量计算、储量评价、三维地质建模等工作,客观评价和归纳了油藏数值模拟技术在海上油(气)田开发中的作用以及多年来运用油藏数值模拟技术的几点体会。

关键词:海上油(气)田;油藏数值模拟;油(气)田开发

中图分类号:TE319

文献标识码:A

Application of reservoir simulation technology to offshore oilfield development

Li Jiudi

(Institute of SINOPEC Shanghai Offshore Oil & Gas Company, Shanghai 200120)

Abstract: Reservoir simulation technology has been widely used for a long time in China. Compared with onshore oilfield, offshore oilfield development has its own special characteristics such as capital intensive, high risk, and limited drilling information. So its development strategy is different with conventional onshore oilfield development. Reservoir simulation technology can be used to study overall development scheme, development scheme adjustment, dynamic follow-up, and remaining oil distribution, and it also can be used to calculate and estimate reserves and set up 3D models. Application and effects of reservoir simulation technology in China was introduced and commented in this paper.

Key words: offshore oilfield; reservoir simulation; oilfield (gas field) development

我国自 20 世纪 60 年代开始油藏数值模拟技术研究以来,经历五十余年的自主研究、软件引进以及在中原、大庆、胜利、吉林、新疆等油气田的运用^[1],应该说数值模拟技术在各油(气)田的运用已相当广泛。但究其在油(气)田的开发中的作用,长期以来一直存在两种截然相反的观点。其一是盲信,认为数值模拟技术可以解决油(气)田开发生产中的一切问题,如新区的整体开发方案,老区的动态跟踪、开发调整、产量预测等等,认为如果没有数值模拟的结果,就无法对油(气)田开

发矛盾进行正确诊断,无法给出正确的预测产量。其二是不信,认为地下油(气)田异常复杂,单靠计算机的模拟计算,很难给出令人信服的结果。然而实践应用表明,盲信或不信均为不客观的态度。

1 油藏数值模拟基本原理

油藏数值模拟技术基本原理就是解方程组。首先建立一套描述油藏渗流的偏微分方程组,同时包括求解方程组的辅助方程,初始条件和边界条

收稿日期:2008 - 05 - 14;改回日期:2008 - 06 - 13

作者简介:李久娣(1970—),女,油藏工程师,2000年毕业于中国石油大学油藏工程专业,硕士研究生,现从事油气田开发研究工作。E-mail:lijd@shoppe.com.cn。

件;然后通过离散化将偏微分方程组转换成有限差分方程组,再将其非线性系数项线性化,从而得到线性代数方程组,通过线性方程组解法求得所需未知量的分布;最后将各种数学模型的计算方法编制成计算机程序,以便于用计算机得到所需要的各种结果^[1]。事实上,目前各油(气)田对油藏数值模拟技术的运用绝大多数仍限于运用各种商业油藏数值模拟软件解决油(气)田开发问题。

2 油藏数值模拟技术在海上油(气)田开发中的作用

归纳起来,油藏数值模拟技术在油气田开发领域的作用主要表现在两个方面。其一是作为开发(调整)方案优化及产能预测的工具。将地质模型输入数值模拟软件后,在油(气)田开发原则指导下,对开发层系、开发方式、开发井数、井型、采油(气)速度、射孔方案等一系列开发技术政策进行优化,同时对储量、水体、渗透率、表皮系数等不确定性较大的参数对开发方案的影响进行敏感性分析,并在此基础上进行产能预测。其二是作为动态跟踪研究、找寻剩余油(气)及调整挖潜工作的一种技术手段。通过历史拟合结合生产动态不断调整地质认识,使地质模型接近地下实际情况,同时找寻剩余油(气)分布,据此设计调整与挖潜措施,并对新的调整、挖潜措施进行预测。

2.1 作为开发(调整)方案优化及产能预测的工具

就新区开发方案的优化及产能预测而言,油藏数值模拟技术的作用是不言而喻的。油藏工程师通过对新区地质与储量评价,从油藏工程的角度进行初步开发方案设计。所谓从油藏工程角度进行开发方案设计,就是根据油藏工程师的经验来设计开发方案。不同的油藏工程师,其专业背景不同,工作经历不同以及思考问题的方式方法不同均会不同程度影响其设计的开发方案。应用数值模拟技术来进行开发方案的优化工作则可以很好地避免由于油藏工程师本身专业结构、工作经历与思考问题方式方法不同对开发方案的影响。尤其对于对将来的开发指标影响较大的开发技术政策,如井型、开发井数、采油(气)速度、射孔方案等等。通过应用油藏数值模拟技术设计不同的方案,根据不同方案下开发指标的对比,优选出高效、合理、经济的开发方案。另外,通过油藏数

值模拟技术对将来开发效果,对工程建设,以及采油(气)田工艺影响较大的储量、渗透率、各向异性、水体、表皮系数等不确定因素进行敏感性分析,可以正确指导工程方案、钻完井工艺的设计,提高开发效果。显然,缺少油藏数值模拟优化这一关键步骤,往往会导致设计出的开发方案一项或多项开发技术政策不能很好地符合油(气)藏的特征,从而为将来的油(气)田开发留下隐患。这种例子在油(气)田开发过程中屡见不鲜。尤其对于海上油(气)田,由于其所处独特的海洋环境,其投资大、风险高、钻井少、取资料难,因而在开发方案的研究阶段,海上油(气)田的地质油藏认识相对要浅,相应开发方案的不确定性则大得多。因此,运用油藏数值模拟技术进行各项开发技术政策的优化,各项关键因素的敏感性分析,减少将来开发中的开发矛盾和投资风险就显得尤为重要。目前东海提交探明储量的资料基础基本上是“一个构造一块三维一口探井”,储量往往采用层状均质分布的模式,储量计算中对储层展布和砂体的刻画几乎为零。事实上大部分东海油气藏分布于三角洲、河流沉积为主的储层中,储层非均质性给储量认识带来相当大的不确定性。在这种情况下,有效地运用油藏数值模拟技术,对各种储量模式做出不确定性分析,再将这种不确定性传递给下一个专业链,是规避储量风险,提高项目经济性的有效措施之一。

2.2 作为动态跟踪研究、找寻剩余油(气)及调整挖潜工作的一种技术手段

作为动态跟踪研究、找寻剩余油(气)及调整挖潜工作的一种技术手段而言,油藏数值模拟技术同样发挥着重要的作用。尤其在海上油气开发领域,油藏数值模拟的作用几乎是不可替代的。以剩余油研究为例,剩余油分布研究包括很多方法,如地震技术法、沉积相分析法、油藏动态分析法、油藏数值模拟法及储层流动单元研究法等^[2]。理论上,上述诸多剩余油研究方法均为可靠且合理的方法,在很多油(气)田得到很好的运用。如地震技术法,通过在油藏开采期间进行多次高精度重复测量,根据地震响应中的相对变化,

盛蔚,任征平. 宝云亭、武云亭油气田开发动用储量评价及储量风险分析. 2004 年科技成果论文汇编,中国石化股份有限公司上海海洋油气分公司,2005。

确定油藏内部发生的变化,从而得到剩余油的分布;又如沉积相分析法,根据单砂体的分布与沉积微相层模型特征,结合动静态资料、吸水资料、产液剖面、压力测试、C/O 资料等,对研究区各个单砂体的动用情况进行逐层评价,确定剩余油的分布特征,绘制剩余油分布图^[2]。而在海上油(气)田开发领域,一些技术的运用一定程度上受到投资大、成本高的限制,如地震研究技术。目前东海已投入开发的油气田其规模都不大,而在海上进行地震技术的研究费用达千万元以上,显然,地震开发技术在东海油(气)田开发领域目前还得不到运用。另一些技术由于受到资料的缺乏同样无法运用,如沉积相分析法,储层流动单元研究法等。相比于陆上油气田丰富规范的动态资料,海上油气田的动态资料可以用“零星”两个字来概括。除了常规的油气水的产量,油套压,井口温度外,其它包括生产测井,试井,化验分析等油藏工程研究必须的资料只能在开发井出现问题时由油藏工程师提出,且在时间、气候、经费允许的情况下才能得到。沉积相分析法、储层流动单元研究法由于对资料的要求太高在海上油气田同样得不到很好的运用。而油藏数值模拟技术由于价格相对低廉,时间周期短,对资料要求不像其它方法那么苛刻而成为广泛运用且经济有效的一种方法。

事实上,就目前东海已投入开发或正投入开发的多个油(气)田,自总体开发方案始,包括总体开发方案、开发调整方案、开发井随钻跟踪、动态跟踪、开发调整、挖潜,几乎任何一项研究工作,数值模拟都是一项非常有效的技术手段。平湖油气田自 1998 年投入开发以来,运用油藏数值模拟技术成功地进行了动态跟踪研究和剩余油分布研究,并在剩余油研究的基础上设计了多口调整井以及一系列调整挖潜措施,均获成功,调整井不仅做到了井井成功,且单井产量最高达到 1 100 t/d。平湖油气田花港组油藏原油生产之所以能取得良好的开采效果(目前采出程度已达到 36.3%,预计最终采收率可以达到 45%),应该说油藏数值模拟这一技术手段功不可没。

3 数值模拟运用的几点体会

3.1 过硬的专业背景

数值模拟软件实际是一台高性能的计算器,

囊括了几乎所有的油藏工程的专业知识,不仅如此,它还包括了部分地震、地质、钻井、采油、工程以及经济评价等多个学科的内容。因此数值模拟的应用者应该具备较强的专业背景。相当长的一段时间里,油藏数值模拟技术被当作复杂的数学运算在运用,由此引进数学系刚刚毕业的学生从事油藏数值模拟研究工作,其研究的结果是值得质疑的。当然,数学功底深厚的数学系毕业生在掌握足够多的油藏工程专业知识后再从事油藏数值模拟研究应该是得心应手的。

3.2 充分理解三维地质模型的地质信息

国内石油院校详细的专业划分,油公司各专业研究者的细致分工以及各专业研究者隶属于不同行政机构一度使得各个专业之间缺少有效的沟通。各个专业口的工程师都各自闷头完成自己的工作,然后移交给下一个专业的工程师。这种工作模式导致的结果就是油藏工程师毫无地质模式,对构造、储层、砂体和沉积相毫无概念。因此油藏工程师在进行油藏数值模拟之前务必与物探、地质工程师充分沟通与交流,最佳的模式是参与物探与地质工程师的工作,要把地质模式装到大脑中,要理解地质工程师建立的三维地质模型中包含的所有地质油藏信息。

3.3 做好输入参数的质量控制工作

数值模拟工作者熟知的一句话,“垃圾进垃圾出”,即输入的是垃圾输出的也是垃圾。多年与物探、地质工程师协同工作的经历使我逐步体会了这句话的深刻内涵。由于资料本身的限制,研究者本身思考问题方式方法的差异,研究手段的局限性使得研究结果往往出现“失之毫厘,差以千里”的局面,由此对油藏数值模拟来说有时“垃圾的输入”成为不可避免的事实。另外,由于对基础工作的不重视,很多需要大量基础研究、基础试验工作得到的参数和结果亦包含了部分“垃圾”,稍不留意数值模拟可能成为“垃圾”处理厂。油藏数值模拟的研究者在工作之前,对输入参数要充分弄清其来龙去脉,把好输入参数的质量关。

3.4 数值模拟之前需对研究内容做深入、细致的分析

数值模拟运算求解具有多解性,也就是说要达到同一个拟合目的可以通过多种途径达到。到底哪一种途径代表真实的地质油藏认识是我们作为油藏工程师不变的追求,但往往也是难以达到

的追求。油藏数值模拟的多解性强,要在浩瀚如海的参数中挑选出代表真实地质油藏认识有时不亚于大海捞针。因此在进行油藏数值模拟之前需要对研究内容作深入和细致的分析。哪些是已经得到的可靠的认识,哪些是模棱两可的认识,哪些是完全不知道的认识,有这样一个分析过程就可以大大减少数值模拟的多解性,研究工作就可以做到有的放矢。数值模拟切忌眉毛胡子一把抓,什么都想通过数值模拟研究工作来解决可能什么问题也解决不了。

3.5 对油藏数值模拟结果做有效的分析

同样,由于数值模拟运算求解的多解性以及油藏数值模拟研究工作的复杂性,对油藏数值模拟的运算结果要进行有效的分析。要运用已有的地质油藏认识和地质油藏工程的专业知识对数值模拟的结果进行分析,对于明显与地质油藏认识和地质油藏知识不符的运算结果,要认真核查数值模拟每一个过程的参数的输入处理的正确与否,不轻易否定油藏数值模拟,也不能过于轻信油藏数值模拟。

3.6 对不确定的地质信息做好充分的敏感性分析

对于海上油(气)田而言,资料少、投资大、风险高。因此数值模拟研究过程中,不确定性分析是非常重要的一个步骤。由于受到客观条件的限制,作为油藏工程师,我们无法对得到的资料做更多的要求,那么我们唯一能做的是对于不确定的地质油藏信息,做好充分的不确定性的分析,并将不确定分析的结果传给下一个专业链的钻完井和

海洋工程工程师,让他们也在方案设计中充分考虑到地质油藏的不确定性,做好风险的防范措施。

3.7 充分运用综合分析的方法

为了更好发挥油藏数值模拟的作用,综合分析的方法亦是不可或缺的手段之一。海上油(气)田尤为如此。由于海上这一地理环境的特殊性,任何油藏数值模拟研究的合理、高效、经济的开发方案均需经过海上可行性的考证,任何海上不可行的方案均为不能采用的方案。

4 结束语

无论是作为开发(调整)方案优化及产能预测的工具,还是作为动态跟踪研究、找寻剩余油(气)及调整挖潜工作的一种技术手段,油藏数值模拟技术均不失为一项先进、有效的技术手段,尤其在海上油(气)田,发挥了很大的作用。需要强调的是,可靠的地质认识与落实的储量是油藏数值模拟的基础。没有可靠的地质认识与落实的储量,任凭数值模拟技术运用的如何娴熟,其数值模拟往往只能取得假想的结果。

致谢:在本文成文过程中,曾与曾广东、盛蔚、王艳红、张莉莉、王建伟、崔映坤等同志进行探讨研究,同时得到斯伦贝谢公司张中鹏、周维泗、蔺学军等的无私帮助,在此对他们一并表示感谢。

参考文献:

- [1]陈月明. 油藏数值模拟基础[M]. 山东东营:石油大学出版社, 1994.
- [2]谢俊,张金亮. 剩余油描述与预测[M]. 北京:石油工业出版社, 2003.

韩国三星重工制造出世界上最大的液化天然气船

韩国三星重工日前在巨济造船厂举行了世界最大规模的 $26.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 容量级液化天然气船命名仪式。该船以卡塔尔王妃的名字“Mozah”命名。

这艘液化天然气船是 2006 年 3 月三星重工以当时的历史最高价 2.9 亿美元承揽的,历时 28 个月建成。该船长 345 m、宽 54 m、深 27 m,可以一次性装载 $26.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 液化天然气,速度可达 19.5 节。由于装有两台引擎发动机,其航行稳定性比现有的世界最大规模的 $21.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 容量级液化天然气船更高。

这艘液化天然气船将于 8 月末交付船主卡塔尔方面,之后该船每年将向欧洲和美国运输 12 次卡塔尔北部气田中生产的液化天然气。三星重工计划截至 2010 年,陆续向卡塔尔交付 11 艘同样型号的液化天然气船。

李晓兰摘编自《中国海洋报》2008 年 7 月 22 日