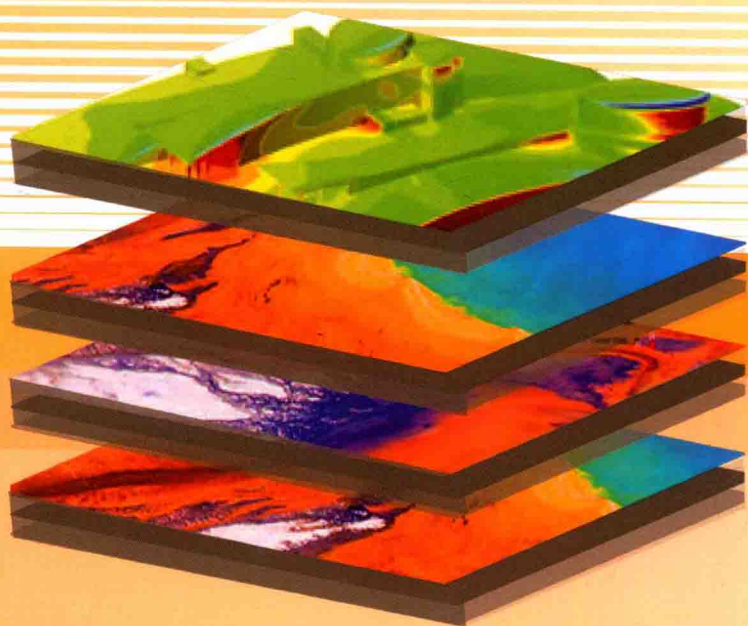




油藏数值模拟

蔺学军 著

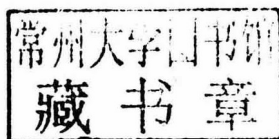
入门指南



石油工业出版社

油藏数值模拟入门指南

蔺学军 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是作者从事油藏数值模拟工作 20 余年来的经验总结,介绍了完成一个数值模拟项目的全过程:数据准备、历史拟合、运行产量预测以及进行结果分析。本书从模型初始化、岩心实验分析、网格划分、水体分析、生产动态分析、压力拟合、模型预测等方面进行了详细介绍,并对组分模型、黑油模型、裂缝油藏数值模拟、煤层气藏数值模拟进行了详细研究。

本书可供从事油藏数值模拟工作的技术人员、科研人员及石油院校相关专业的师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

油藏数值模拟入门指南/蔺学军著.

北京:石油工业出版社,2015.4

ISBN 978-7-5183-0595-7

I. 油…

II. 蔺…

III. 油藏数值模拟-指南

IV. TE319-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 020978 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010)64523541 图书营销中心: (010)64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京中石油彩色印刷有限责任公司

2015 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 2 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 10.5

字数: 260 千字

定价: 65.00 元

(如出现印装质量问题, 我社图书营销中心负责调换)

版权所有, 翻印必究

前言

我最早接触油藏数值模拟工作是在1994年,当时中国石油天然气总公司从各油田选派工程师到美国接受为期两个月的WorkBench软件培训,冀东油田选派我参加了这个培训班,从此与数值模拟结缘并一直从事与油藏模拟有关的工作,到现在已经20余年。我从2005年10月开始在网络上解答大专院校学生以及油气公司工程师咨询的有关油藏数值模拟方面的问题,截止到2012年,在网络上共解答了上千个问题。期间很多人建议把这些问题和解答进行系统地整理并且出版发行,这样可能会使更多的人受益。现在大家看到的这本书就是基于我这些年在天涯论坛以及精准石油论坛上解答的所有问题进行系统整理后的内容。

著名的无神论学者道金斯在他的《自私的基因》一书前言中写道:“我在写作时一直有三位想象的读者在看着我,我愿将本书奉献给他们。第一位是普通读者,外行,为了他的缘故,我尽量避免使用专业术语……第二个想象的读者是个行家,他非常挑剔……我心目中第三个想象的读者是位学生,他现在在外行,但很快将成为行家里手……”我在写本书时也在想象三位读者,第一位是20年前刚开始从事数值模拟工作的我,身边没有人指导,只能自己摸索,很渴望一本类似围棋入门指南一样的书。第二位是在网络上问我问题的网友,其中精准石油论坛一位叫“来来往往”的网友在给我的留言中写道:“看了您的帖子,很吸引我,一口气从头读到尾,受益匪浅!我是一个数值模拟的初学者,看到楼主真是像在黑暗中找到了指路灯,很期待!”第三位是模拟专家,随时会指出我的错误。

一个油藏数值模拟项目总体上包括三大部分。第一部分是数据准备,即数值模拟前处理。这部分工作大约占项目的30%左右时间。大家通常说的“Garbage in, garbage out”正体现出前处理的重要性。前处理阶段工作内容包括以下几个方面:

- (1)模型网格化,即设计模型网格走向、网格尺寸、局部网格加密及局部网格抽稀。
- (2)模型构造和属性粗化,即将静态地质模型粗化为油藏数值模拟模型。
- (3)分析实验室流体PVT实验。可以采用状态方程拟合实验室流体实验结果,然后为数值模拟模型输出流体PVT参数。
- (4)进行常规岩心实验分析和特殊岩心实验分析。分析孔隙度、渗透率关系,划分岩性分区;分析实验室相对渗透率曲线和毛管压力曲线;分析束缚水饱和度、残余油饱和度和最小含气饱和度与岩石物性的关系。在油藏模拟模型中采用端点标定的方法建立相对渗透率曲线和毛管压力曲线的端点分布。
- (5)分析DST和MDT测量油藏静态压力。通过DST和MDT测量压力分析油气界面、油水界面、气水界面,建立模型平衡区分区。
- (6)水体分析。采用物质平衡方法分析水体大小和水侵指数。在数值模拟模型中连接数值水体或分析水体。

(7)管流曲线计算。如果需要拟合井口压力或采用井口压力进行产量控制,需要为模型提供管流曲线。

(8)生产动态分析。包括收集井位、井轨迹、完井方式、修井作业等参数,分析油田以及单井生产和注入历史,为模型准备油、气、水产量和注入量以及压力数据。

油藏数值模拟项目第二部分是进行历史拟合。历史拟合的目的之一是为了辅助我们认识油气藏的特征以及生产机理,另外可以帮助完善模拟模型,提高模型的可信度。历史拟合的方法是通过修正模型的静、动态参数来重现油气田的开发历史。历史拟合过程中通常修正模型孔隙度、渗透率、净厚度属性分布、断层传导率、流体属性、相对渗透率曲线、毛管压力曲线、井的生产指数、井的污染系数等参数。

历史拟合阶段大约占项目30%左右时间。在各种油藏数值模拟论坛中大家经常会讨论历史拟合的接受标准是什么,也就是说拟合到什么程度历史拟合可以认为能够接受,然后可以转入预测阶段。虽然各家公司可能有一定的定量历史拟合接受标准,比如压力拟合误差应该小于百分之多少,后期含水拟合误差不大于百分之多少等,但在实际项目中,历史拟合时间经常受项目总时间的制约,我们不可能一直拟合下去。这时通常是首先确定在油田和井组层面能够达到理想的拟合,然后拟合一些重点井。历史拟合时压力拟合是最重要的,尤其是MDT和DST测量压力,不过压力拟合也是模拟人员最头痛的。

历史拟合过程中最重要的是拟合参数的选择和调整范围。如果地质师建立的地质模型经过历史拟合最后变得地质师根本不认识而且也不接受,那就失去了历史拟合的意义。参数的调整一定要有地质意义,历史拟合不是纯数学上的拟合,而是静态地质模型与动态生产结果的拟合。历史拟合的趋势是计算机辅助历史拟合,计算机辅助历史拟合生成多个满足历史拟合标准的模型。这样可以定量分析模型不确定性对预测结果的影响。

油藏数值模拟项目第三部分是运行产量预测以及进行结果分析(后处理)。这部分工作大约占项目总时间的40%。这是数值模拟项目的最终目的,前处理和历史拟合都是为这部分做准备。模型预测质量要满足项目的要求,进行开发方案或调整方案设计 with 中短期产量预测的要求是不一样的。开发方案或调整方案设计需要对比各种不同情形下的开发效果,重要的是不同方案的开发效果差别,而中短期产量预测对结果精度的要求更高。由于地下油藏的非均质性和复杂性,产量预测的难度很大,甚至难于对天气的预测。虽然预测精度面临很大的挑战,BP公司一位负责开发的前总裁曾说过,油藏数值模拟预测存在误差,但这是系统性误差,数值模拟预测结果仍然对油田开发和调整方案的制订起重要指导作用。

霍金在《时间简史》第四章中提到的量子理论表明我们生活在一个不确定性世界。量子力学不预测一个事件可能发生的确定性结果,而是预测事件发生的概率。定量分析参数的不确定性在油藏数值模拟预测中将变得越来越重要和普及。目前,数值模拟软件以及计算机硬件的发展也支持大规模模拟计算以便定量掌握油田开发不确定性。

至此,将本书献给油藏数值模拟的初学者及从事油藏数值模拟的同行们,希望这本书在工作中能给予你们帮助。由于笔者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请专家和广大读者批评指正。

目 录

CONTENTS

第一章 静态地质模型	(1)
第一节 构造模型	(1)
第二节 相模型	(3)
第三节 属性模型	(3)
第二章 油藏模拟模型	(7)
第一节 网格类型	(7)
第二节 建立数值模拟网格注意问题	(11)
第三章 网格及属性粗化	(16)
第一节 构造粗化	(16)
第二节 属性粗化	(19)
第四章 流体高压物性参数	(25)
第一节 黑油模型需要的流体输入参数	(25)
第二节 如何处理实验室流体实验结果	(27)
第三节 模型如何应用流体 PVT 参数	(29)
第四节 模型如何进行 PVT 反查	(30)
第五节 输入 PVT 参数应注意问题	(32)
第五章 岩石物性	(33)
第一节 孔渗关系	(33)
第二节 相对渗透率曲线	(34)
第三节 相对渗透率曲线标准化	(36)
第四节 三相相对渗透率	(40)
第五节 润湿滞后	(41)
第六节 毛管压力曲线	(43)
第七节 含水饱和度和束缚水饱和度	(46)
第八节 不同含水饱和度测量方法对比及在数值模拟中的应用	(50)
第九节 残余油(气)饱和度	(50)
第十节 岩石压缩性	(51)
第十一节 相对渗透率曲线和毛管压力曲线在模型中的应用	(52)
第十二节 输入相对渗透率曲线和毛管压力曲线应注意的问题	(52)

第六章 分区设置	(55)
第一节 储量分区	(55)
第二节 流体属性分区	(55)
第三节 岩石类型分区	(58)
第四节 平衡区分区	(60)
第五节 设置分区应该注意的问题	(61)
第七章 模型初始化	(62)
第一节 模型初始化需要提供的参数及其来源	(63)
第二节 压力分布初始化	(66)
第三节 饱和度分布初始化	(67)
第四节 储量计算	(70)
第五节 初始化应该注意的问题	(70)
第八章 水体	(72)
第一节 网格化水体	(72)
第二节 数值水体	(72)
第三节 解析水体	(73)
第四节 设置水体应该注意的问题	(76)
第九章 管流曲线	(77)
第一节 如何生成管流曲线	(77)
第二节 如何选取管流曲线关系式	(79)
第三节 管流曲线应用	(79)
第四节 应用管流曲线时应该注意的问题	(81)
第十章 生产历史拟合	(83)
第一节 准备和分析实测数据	(83)
第二节 参数敏感性分析	(85)
第三节 历史拟合步骤	(89)
第四节 模拟水平井	(100)
第五节 模拟水力压裂	(104)
第六节 计算机辅助历史拟合	(105)
第七节 历史拟合经验	(108)
第十一章 产量预测	(109)
第一节 预测阶段单井生产和注入控制	(109)
第二节 预测阶段油田和井组生产及注入控制	(111)
第三节 概率预测	(114)
第四节 预测结果质量检查	(118)

第十二章	组分模型	(120)
第一节	组分模型与黑油模型对比	(121)
第二节	状态方程及闪蒸计算简介	(122)
第三节	准备状态方程参数	(124)
第四节	组分模型初始化	(130)
第五节	如何模拟凝析气藏开发	(131)
第六节	模拟混相驱	(134)
第十三章	煤层气藏数值模拟	(138)
第一节	煤层气藏开发生产特点	(140)
第二节	煤层气流动机理	(143)
第三节	煤层气藏几个重要参数	(144)
第四节	模拟煤层气藏	(151)
附录	SPE 数值模拟对比	(157)
参考文献		(160)

第一章 静态地质模型

一个好的油藏数值模拟工作者除了需要具备丰富的油藏工程知识和长期的数值模拟经验以外,还需要具备地质背景知识和生产作业知识。数值模拟工作者有时抱怨自己的项目在公司没有受到重用,在很多情况下这不是由于数值模拟本身的问题,而是由于与地质和生产结合不够紧密造成的。在历史拟合阶段,地质知识尤其重要,而在预测阶段要求数值模拟工程师必须有很强的生产作业知识。现在大多数油气田都采用三维储层建模技术来描述油藏,三维地质模型由地质工程师建立,油藏工程师通常不需要自己建立地质模型,但是应该熟悉地质模型的建立方法和步骤,了解模型的不确定性参数,这样有助于在历史拟合阶段调整模型参数。在建立地质模型属性参数时,油藏工程师最好能够参与建立渗透率以及初始含水饱和度属性的分布。通常地质模型都是精细模型,需要通过粗化手段来生成数值模拟模型,模型粗化最好由油藏工程师来做,不要依赖地质工程师。

三维储层建模的基本流程如图 1-1 所示。其主要步骤是首先建立三维构造模型,包括基于地震解释层面和断层建立构造框架,基于井间地层对比和地震解释得到的地层层序建立构造层面模型,通过纵向分层建立三维地质构造模型。然后建立相模型,相模型的建立主要依据露头研究、岩心分析以及测井解释。相模型主要用于控制地层属性的分布,在建立三维地层属性模型时,地质工程师采用相控方法结合测井解释和岩心分析结果来建立模型砂体以及孔隙度、渗透率、含水饱和度以及油藏净厚度三维属性分布。不确定性分析定量评价模型不确定性参数对储量的影响,地质工程师通过不确定性分析得到 P10, P50 和 P90 模型。一般情况下,我们用 P50 模型来进行油藏数值模拟计算。有些公司可能同时应用 P10, P50 和 P90 模型进行模拟工作。

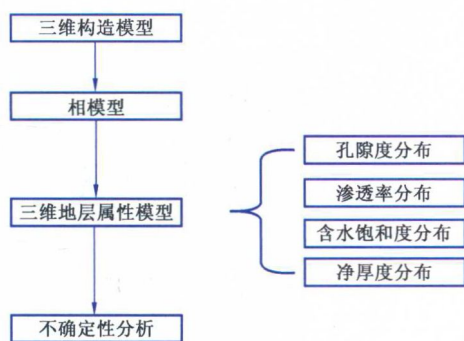


图 1-1 三维储层建模基本流程

第一节 构造模型

三维储层建模的第一步是基于地质解释层位、断层以及井间对比层序建立构造模型。地震解释层位是时间域,需要通过地层速度模型转换到深度域。速度模型不确定性较大,在井少的情况下,经时间、深度转换后的构造深度可能有较大不确定性。不过在数值模拟历史拟合阶段很少会调整模型构造。

一、建立三维断层模型

断层控制模型构造,建立三维断层模型是构造模型的关键一步。地震解释断层可能包括正断层、逆断层、截断断层等,在建立三维断层模型时,地质工程师可能会根据断层的断距、断层平面(即纵向伸展情况)来选择主要断层进行断层建模。图1-2为一个三维断层模型。

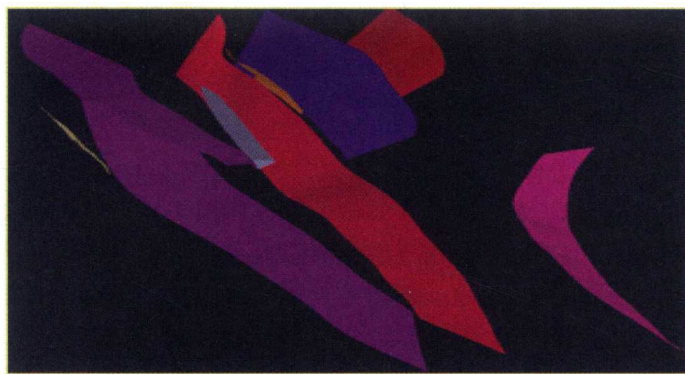


图1-2 三维断层模型

在地质工程师对地质模型进行网格化时,网格走向通常会沿主断层方向,主断层作为控制线控制网格方向,小断层一般进行“之”字形处理。如图1-3所示。模型网格走向会影响数值模拟结果,网格正交性会影响数值模拟收敛性,地质工程师在进行模型网格化时不会考虑很多网格对流体流动的影响,如果有可能,数值模拟工程师最好能够参与模型网格化或在粗化时重新进行网格化。

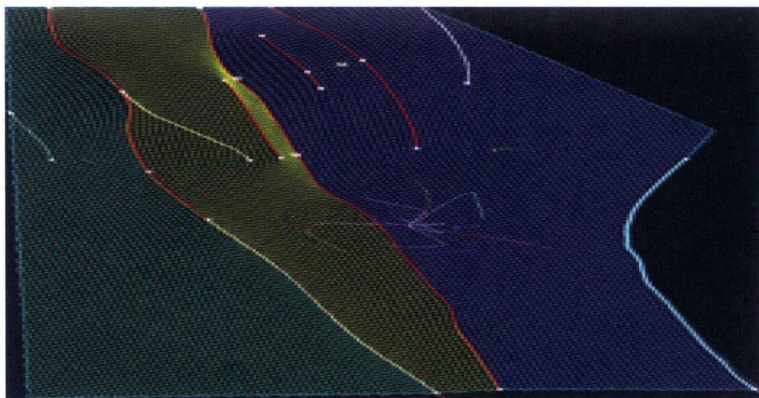


图1-3 网格化

二、建立三维层面模型

建立三维层面模型分两步,首先依据地震解释层面建立油组顶面的层面模型,然后依据井的测井层序建立砂体的三维层面模型。

三、模型分层

模型分层是建立构造模型的最后一步,为了保留地层纵向非均质性,地质模型纵向上一般分得很细,平均层厚可能小于1m。图1-4为三维构造模型。

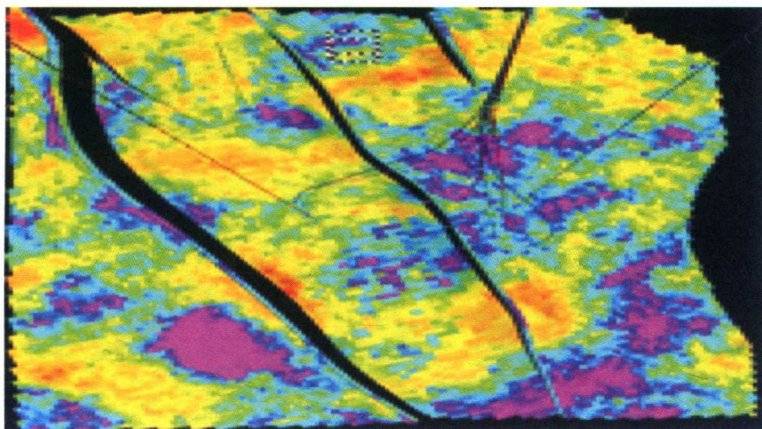


图1-4 三维构造模型

第二节 相 模 型

建立相模型主要用于了解地质沉积过程,认识储层展布、连通性及非均质性。相模型控制地质模型孔隙度以及砂体展布等属性在空间上的分布。在进行油藏模拟模型岩石分区时可以参考相模型。这部分涉及许多地质概念,这里不做详细介绍。

第三节 属 性 模 型

油藏数值模拟中需要用到的模型属性包括地层有效孔隙度、渗透率、含水饱和度及地层净厚度(或净毛比)等。

一、孔隙度

总孔隙度定义为岩石的总孔隙体积与岩石总体积的比值,而有效孔隙度是岩石中相互连通的孔隙体积与岩石总体积的比值。我们需要对总孔隙度和有效孔隙度有清楚的认识,这与后面要介绍的束缚水饱和度及含水饱和度有关。

从岩心实验、常规测井(声波、密度或中子)和核磁共振测井可以得到孔隙度。通常从岩心实验和常规测井中得到的是总孔隙度,而从核磁共振测井可以得到有效孔隙度。另外在常规测井中,中子测井和密度测井可以识别原生孔隙和次生孔隙(裂缝、溶洞等),而声波测井只识别原生孔隙。图1-5为一口井的有效孔隙度测井和总孔隙度测井结果的对比。

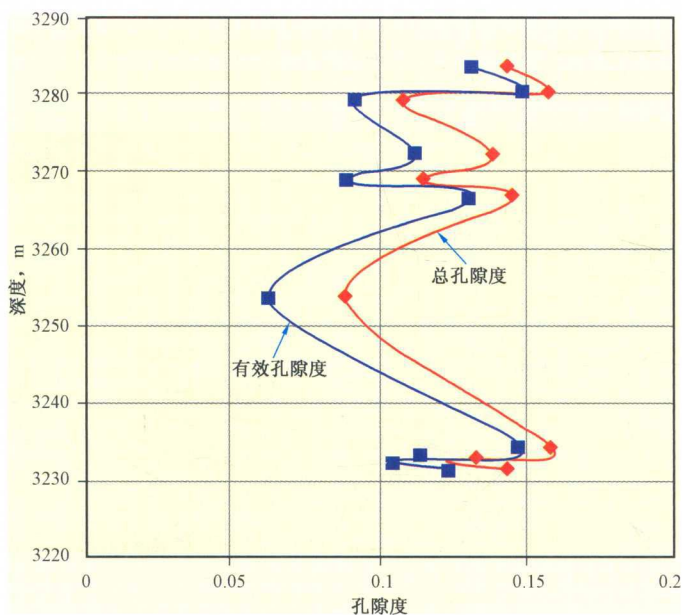


图 1-5 有效孔隙度和总孔隙度测井曲线

二、渗透率

地层渗透率分布通常采用孔隙度—渗透率转换关系来计算。这个转换关系通常由常规岩心分析得到。如图 1-6 所示。

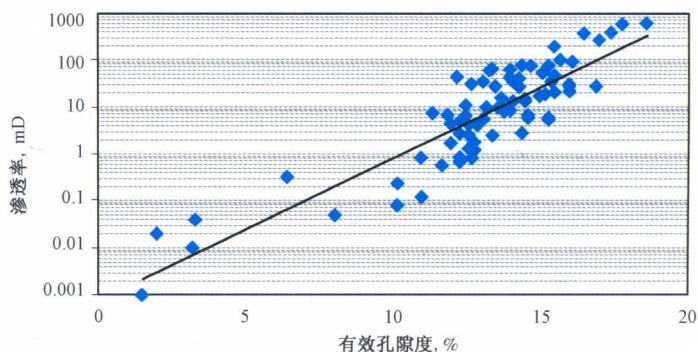


图 1-6 孔隙度—渗透率转换关系

实际上渗透率不只与孔隙度有关,也与孔隙结构、孔隙连通关系等有关。所以在建模型渗透率分布的时候,应该参考从其他途径得到的渗透率。测量渗透率通常有以下几种途径:岩心分析,常规测井,核磁共振测井,重复地层测试(RFT)、模块地层测试(MDT)和试井。下面介绍每种测量方法以及在模型中如何建立渗透率分布。

1. 岩心分析

实验室岩心实验包括常规岩心实验和特殊岩心实验。常规岩心实验测量渗透率采用注气测量,在流体达到拟稳态的条件下记录入口和出口的压力,然后通过达西定律计算渗透率。这样得到的渗透率是绝对渗透率。而特殊岩心实验可以得到地层上覆压力渗透率、有效渗透率和相对渗透率。我们主要通过岩心实验得到孔隙度和渗透率的转换关系,大多数模型的渗透率都是通过这种转换关系计算的。需要注意的是在建立孔隙度与渗透率的转换关系时,孔隙度应该用有效孔隙度,渗透率也用有效渗透率,因为我们数模模型中的孔隙度是有效孔隙度,渗透率也是有效渗透率。

2. 常规测井

测井曲线的优势是其数据的连续性。在解释井段可以得到连续的渗透率数据,通常采用经验公式计算渗透率。比如通过有效孔隙度和岩石颗粒表面积计算渗透率,通过有效孔隙度和束缚水饱和度计算渗透率或通过声波测井计算渗透率。测井渗透率需要经过岩心渗透率标定。

3. 核磁共振测井

核磁共振测井最重要的特色之一是测量渗透率。核磁共振测井通过核磁共振孔隙度和 T_2 均值来计算渗透率:

$$K_{\text{NMR}} = C \cdot (\phi_{\text{NMR}})^4 \cdot T_2^2 \quad (1-1)$$

式中 C ——常数;

T_2 —— T_2 分布对数均值;

K_{NMR} ——核磁共振渗透率, mD;

ϕ_{NMR} ——核磁共振孔隙度, %。

通过标定常数 C 值,核磁共振得到的渗透率与实验室岩心实验得到的渗透率可以非常接近。

4. RFT、MDT 和试井

试井是油藏工程一个大的分支,求取渗透率是试井的主要任务之一。试井解释得到的是有效渗透率。试井解释渗透率是试井影响半径内的平均渗透率,由于其大尺度特性,可以用来标定数模模型渗透率。另外,可以采取建立单井模型的办法采用数值试井分析渗透率分布,然后应用到数模模型。

三、含水饱和度

在第七章将详细介绍如何建立模型初始含水饱和度的分布。

四、净毛比

净毛比是有效厚度与总厚度的比值。地质人员通过设置泥质含量、孔隙度、渗透率或含水饱和度的截止值来计算净毛比。要注意地质人员与数值模拟人员对净毛比的认识和应用是不一样的。地质人员主要应用净毛比来计算可采储量,因而他们会把含水饱和度也作为截止值。而数值模拟人员不只需要考虑可采储量,还需要考虑地层能量。对数值模拟人员来说,含水饱

和度不能设为截止值,否则高含水饱和度网格都会成了死网格。净毛比是一个经常容易混淆的概念,要认识净毛比,首先需要清楚以下几个概念:

(1)地层厚度:地层顶部到底部的厚度,不管是泥岩、砂岩或其他任何岩性。

(2)有效地层厚度:储藏油藏流体的地层厚度。是地层厚度在应用泥质含量和孔隙度截止值后的厚度。不同油气田可能采用不同的泥质含量和孔隙度截止值。许多油气田泥质含量的截止值采用65%,孔隙度的截止值采用渗透率为1mD(油藏)或0.1mD(气藏)时对应的孔隙度值。现在有不同方法来计算截止值。

(3)有效产层厚度:产纯油或纯气的地层厚度。是有效地层厚度在应用含水饱和度截止值后的厚度。含水饱和度的截止值可以通过孔隙度和含水饱和度交会图来得到(图1-7)。

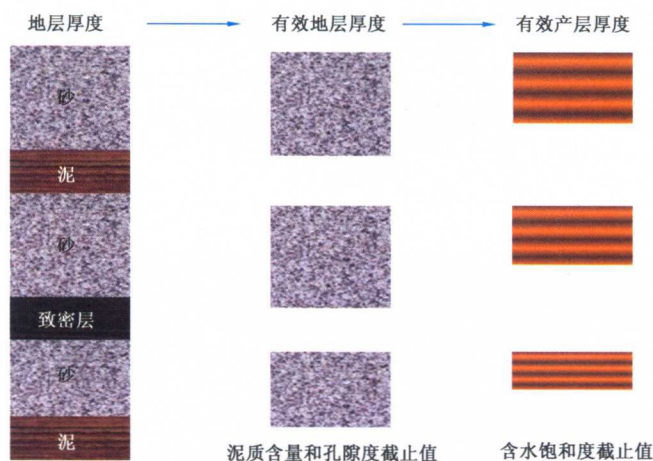


图1-7 净毛比概念

地质人员应用的净毛比可能是有效产层厚度与地层厚度的比值,应用了含水饱和度截止值。而我们模型中需要的净毛比应该是有效地层厚度与地层厚度的比值,不包括含水饱和度截止值。

第二章 油藏模拟模型

油藏数值模拟工作的第一步是创建油藏模拟模型,包括油藏构造模型和油藏属性模型。地质工程师在建立地质模型时通常不会特意设计模型网格走向、网格类型及网格尺寸。在创建油藏模拟模型时,需要选择模拟模型的网格类型、设计模型网格的走向及网格的分布。在创建属性模型时,我们需要建立模型孔隙度、渗透率和净厚度的分布。如果需要从静态地质模型粗化到油藏数值模拟模型,需要掌握构造和不同属性的粗化方法。

第一节 网格类型

数值模拟模型常用的网格类型有块中心网格、角点网格和径向网格,这些网格总称为结构化网格。现在也有模型采用非结构化网格,比如垂直二等分(PEBI)网格。我们需要了解这些网格类型的区别及其优缺点,以便在进行模拟时选择项目最合适的网格。

一、块中心网格

块中心网格是正交网格,是最早用来描述油藏的网格类型,目前仍然被广泛应用。由于其计算速度快,其经常成为一些大型油气田模型首选的网格类型。比如中东的一些油气田模型,总网格数经常在百万数量级,而且断层不是很发育,这些模型通常都采用块中心网格。图 2-1 是一个一维块中心网格,在 x 方向有 16 个网格, y 方向一个网格, z 方向一个网格,总网格数为 $16 \times 1 \times 1 = 16$ 。

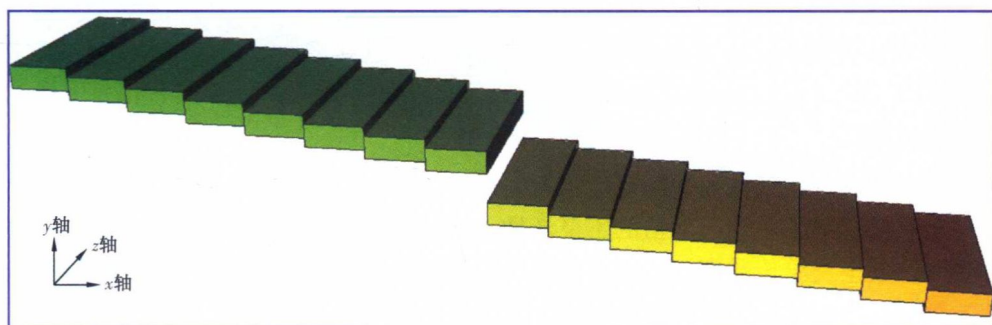


图 2-1 块中心网格

块中心网格的优点是数学描述比较简单,可以手工定义,也可以采用前处理软件。对于一个模拟模型,采用块中心网格只需要定义油藏顶部网格的深度、油藏每个网格的厚度及每个网格 x 方向和 y 方向长度。如果存在断层的话,需要定义断层的走向。块中心网格的正交性非常适合有限差分计算。

块中心网格的缺点是不够灵活,不是很适合于描述复杂的地质构造,比如较复杂的断层分布、尖灭等。采用块中心网格,断层通常会被处理成“Z”字形。采用块中心网格无法区别断层和地层倾斜。如图 2-1 所示,地层在 x 方向倾斜,而在三维显示上网格间却有断距。实际上只有在第 8 个和第 9 个网格间有断层存在。

块中心网格另外一个缺点是网格间的传导率是按照相邻网格来计算的。如图 2-2 所示的模型,在网格(4 1 1)和(5 1 1)间数模模型会计算网格间传导率,流体会发生流动。但在网格(4 1 3)和(5 1 1)以及(4 1 4)和(5 1 1)之间流体却不会发生流动,因为(4 1 3)和(5 1 1)以及(4 1 4)和(5 1 1)不是相邻网格,之间传导率计算为零。这与实际情况不符。因为网格(4 1 3)和(5 1 1)以及(4 1 4)和(5 1 1)之间有接触,如果断层不是封闭断层,网格间应该发生流动。这需要手工提供非相邻网格传导率来模拟。

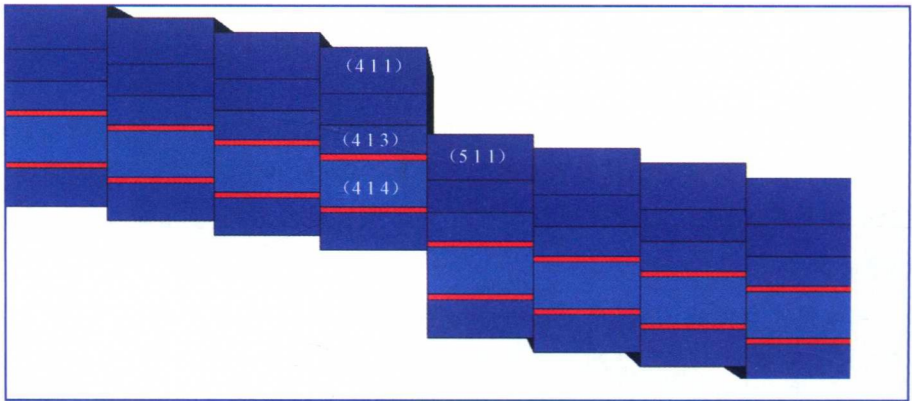


图 2-2 块中心网格的传导率

这里的相邻网格是指数学相邻。在模型中每个网格都会赋给一个网格号 (i, j, k) 。比如网格(4 1 1)是 x 方向的第 4 个, y 方向的第 1 个, z 方向的第 1 个网格。网格(4 1 4)是 x 方向的第 4 个, y 方向的第 1 个, z 方向的第 4 个网格。 i 到 $i+1, j$ 到 $j+1, k$ 到 $k+1$ 是数学相邻网格,比如(4 1 1)到(5 1 1)或(4 1 2)是相邻网格,而(4 1 3)到(5 1 1)却是非相邻网格。

二、角点网格

角点网格的特点是网格的走向可以沿着断层线、边界线或尖灭线,也就是说网格可以是扭曲的。角点网格克服了块中心网格的不灵活性,可以用来方便地模拟断层、边界以及尖灭。角点网格之间的不正交给传导率计算带来难度,而且会增加模拟计算时间,甚至会对模拟结果的精度产生影响。

角点网格的数学模型比块中心网格复杂的多,必须由模拟前处理软件来生成。图 2-3 是一个二维角点网格的例子。地层倾斜和断层可以很明显地区别出来,而且非相邻网格间的传导率可以精确计算。比如图 2-4 中由于断层导致的网格(4 1 2)和(4 1 3)与(5 1 1)间的非

相邻网格传导率,图 2-5 中由于地层尖灭导致的(5 1 1)和(5 1 3)以及(6 1 1)和(6 1 3)间的非相邻网格传导率。

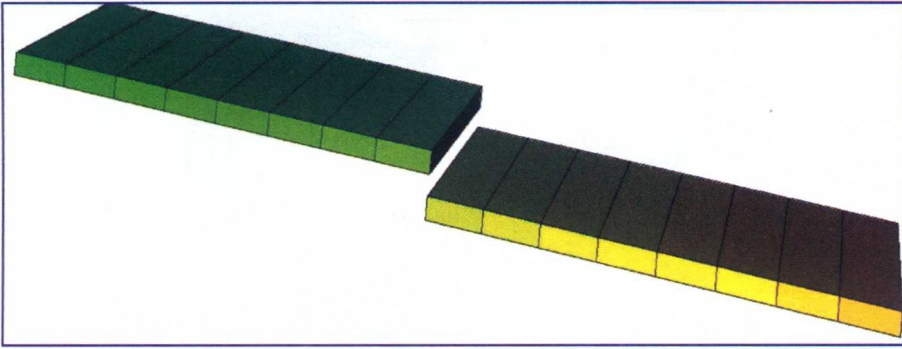


图 2-3 角点网格

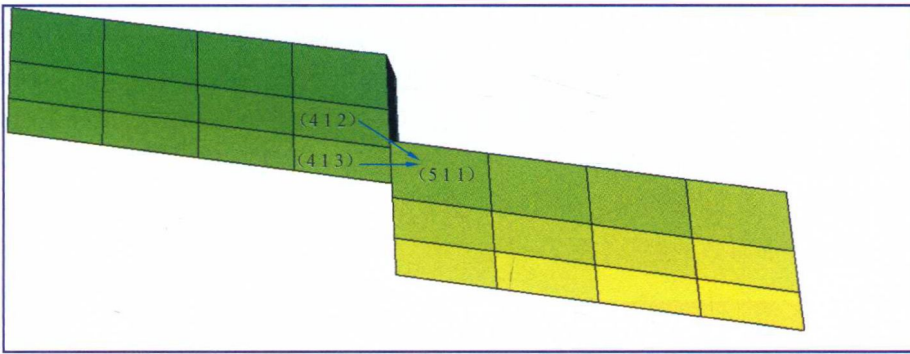


图 2-4 角点网格断层造成的非相邻网格传导率

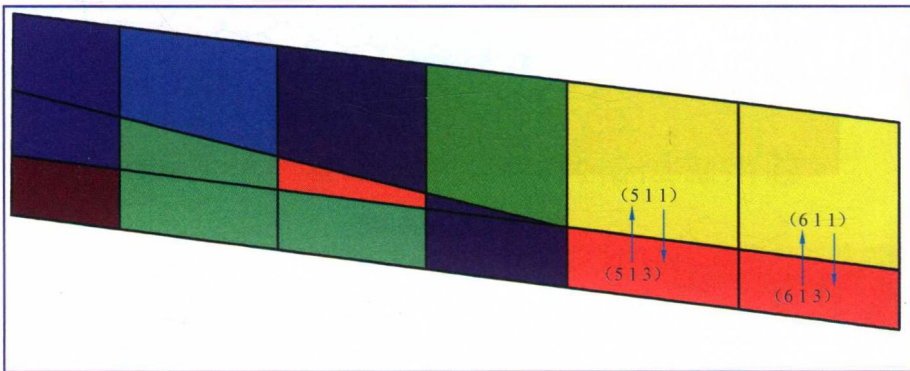


图 2-5 角点网格地层尖灭造成的非相邻网格传导率

三、径向网格

径向网格比较简单,主要用于单井模拟或局部网格加密。径向网格可以更合理地描述井附近流体的径向流动。比如可以应用径向网格来模拟试井测试结果(图 2-6)。