

张 杰 编著

复杂地层调整井压力 预测与控制技术



科学出版社

复杂地层调整井 压力预测与控制技术

张 杰 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

地层压力是影响油田加密调整井安全钻进的重要因素之一,能否对其进行准确预测并采取行之有效的控制措施直接关系到调整井能否顺利钻进。然而,由于处于生产动态中的复杂地层的压力系统极其紊乱,应用常规方法难以准确预测其调整井地层压力。因此,在调整井钻井过程中,高压层出水、低压层漏失,钻井事故和复杂情况极为普遍。为了实现调整井的高效安全钻进,本书通过分析复杂地层的压力分布规律及其动态变化特征,建立了复杂地层调整井压力预测和异常压力定量控制的理论和方法。应用这些方法能够准确地预测复杂地层的调整井压力,并针对预测所得的地层压力异常情况,依据物质平衡原理和渗流力学理论,对其进行有效控制的角度计算,并给出相应的处理措施,对油田生产实际进行有效的指导,以实现减少各种井下事故、提高综合钻井速度和降低调整井钻井成本的目的。

本书可供从事钻井技术研究的人员、钻井工程师以及油气田钻井管理人员参考,同时也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

复杂地层调整井压力预测与控制技术/张杰编著. —北京:科学出版社, 2015.6

ISBN 978-7-03-045037-1

I. ①复… II. ①张… III. ①复杂地层—油井压力—预测 α复杂地层—油井压力—控制 IV. ①TE311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 132665 号

责任编辑:罗 莉/责任校对:王 翔
责任印制:余少力/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 6 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2015 年 6 月第一次印刷 印张: 9 3/4

字数: 202 000

定价: 59.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

本书包含的主要内容如下所述。

1. 非均质地层调整井压力预测的理论和方法

本书从非均质地层的特征出发,建立了相应的调整井地层压力预测数学模型,并应用有限差分方法对其进行求解。

2. 裂缝地层的特征及其定量描述方法

本书研究了裂缝的形态特征、分布规律和裂缝地层的基本特征,借助裂缝叉分原理建立裂缝发育程度的定量描述方法,给出应用压力不稳定试井确定裂缝系统范围的方法,以及应用干扰试井确定地层主裂缝走向的方法。这些方法能够为裂缝地层调整井压力预测提供可靠的基础数据。

3. 裂缝地层调整井压力预测的理论和方法

由于裂缝地层的流体流动具有明显的无规律性,难以给予合理的定量描述。本书利用裂缝网络系统的非均质性和各向异性来研究其渗透特性,并在此基础上建立复杂裂缝网络系统的压力分布计算方法。同时,本书还给出了通过试井解释求取基岩和裂缝中压力分布规律的方法。

4. 复杂地层的压力动态变化特征及其影响因素的定量评价方法

本书研究了调整井地层压力随时间动态变化的特征,以及受邻井工作制度改变影响的规律,并建立了其影响因素的定量评价方法。针对裂缝地层的特殊性,本书还研究了裂缝中的压力恢复和压力降落特征。

5. 导致调整井地层压力异常的原因

以物质平衡原理和达西定律为基础,本书从地质特征和人为因素两个方面入手,研究了导致调整井地层压力异常的原因,并对具体的影响因素进行深入分析,建立了地层压力与区域注采比的关系,给出井间连通关系的确定方法。

6. 调整井异常地层压力定量控制的理论和方法

目前,各大油田普遍采用的异常地层压力控制方法主要是针对异常高压地层

的，常见的有注水井关井停注、注水井停注放溢两种。这些方法大多根据现场工程师的经验判断执行，缺乏理论依据，往往难以达到预期的异常地层压力控制效果，严重制约了调整井的高效安全钻进施工。为此，本书研究建立通过改变注水井或生产井工作制度实现调整井异常地层压力（包括区域性注采不平衡导致的异常低压）控制的定量计算方法，能够实现措施制定和措施执行时间的定量化计算，将改变目前完全依靠经验判断的局面。

7. 复杂地层调整井压力预测与定量控制软件

本书在理论研究的基础之上，编制了相应的计算机软件，该软件具有操作简单方便、计算速度快、计算结果满足钻井设计和安全施工需要等优点。

最后，要感谢西南石油大学对本书出版给予的支持和帮助。此外，书中引用到一些学术论著和研究成果，在此，向众多同行和前辈们致谢！

编者

2015年1月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 国内外研究现状	2
一、调整井地层压力预测研究现状	2
二、调整井异常地层压力控制研究现状	6
第二节 本书的主要内容	8
一、主要内容	8
二、内容之间的逻辑关系	8
第二章 地层压力预测与控制的理论基础	10
第一节 基本概念	10
第二节 多孔介质基本渗流规律	10
一、渗流速度与真实流速	11
二、稳定流与不稳定流	11
三、多孔介质中流体质点移动规律	12
四、多孔介质渗流的达西定律	15
第三节 多孔介质渗流数学模型	15
一、渗流数学模型的结构	16
二、一个典型渗流数学模型	17
第四节 井间干扰现象和势的叠加原理	19
一、井间干扰现象	19
二、势及其叠加原理	20
第五节 均质地层调整井压力预测与压力分布规律	23
一、简单生产系统的压力计算	23
二、均质地层调整井压力计算公式	26
三、均质地层压力分布规律	27
第三章 非均质地层调整井压力预测	30
第一节 非均质地层压力预测数学模型	30
第二节 非均质地层压力预测数学模型的求解方法——有限差分法	32
一、差分法的基本思想	32
二、导数的有限差分近似表示	35

第三节 非均质地层压力预测差分方程	37
一、一维单相流压力预测差分方程	37
二、二维单相流压力预测差分方程	37
三、二维油水两相流压力预测差分方程	39
第四节 差分方程的收敛性和稳定性	42
第五节 计算实例	42
第四章 裂缝地层的特征及其定量评价	45
第一节 裂缝地层的基本特征	45
一、裂缝的形态特征	45
二、裂缝的分布规律	47
三、裂缝地层的特征	49
第二节 裂缝特征的定量描述	50
一、裂缝发育程度的定量描述——裂缝叉分原理	50
二、主裂缝方向的确定	52
三、裂缝系统范围的确定	55
第五章 复杂裂缝地层调整井压力预测	61
第一节 复杂裂缝地层压力分布计算方法	61
一、复杂裂缝地层渗透率计算方法	61
二、复杂裂缝地层压力分布计算	63
第二节 裂缝地层压力分布的试井分析方法	65
一、基岩和裂缝的压力解	66
二、基岩和裂缝压力分布	68
第三节 油田实例分析	70
一、压力预测结果对比	70
二、调整井地层压力影响因素分析	71
三、压力预测效果评价	75
第六章 调整井地层压力动态变化规律	76
第一节 稳定生产地层的压力动态特征	76
一、压力波在稳定生产地层中的传播规律	76
二、稳定生产地层中压力动态的计算方法	77
三、稳定生产地层的压力动态变化规律	80
第二节 产量变化引起的地层压力动态	80
一、地层压力动态变化过程	81
二、动态压力的定量计算	83
第三节 裂缝地层压力动态特征	86

一、裂缝地层压力降落特征	87
二、裂缝地层压力恢复特征	90
第七章 调整井地层压力异常机理	92
第一节 调整井地层压力异常的原因分析	92
第二节 调整井地层压力的影响因素分析	93
一、邻井距离的影响	94
二、生产井产量的影响	95
三、邻井关井敏感性分析	96
四、地层导压系数的影响	97
第三节 地层压力与区域注采比的定量关系	98
一、地层压力与注采比的关系	98
二、地层压力恢复速度与注采比的关系	99
第四节 油水井间连通性分析方法	100
第八章 调整井异常地层压力定量控制	104
第一节 异常地层压力的常规控制方法	104
一、注水井关井停注	104
二、注水井停注放溢	105
三、两种常规方法的比较	106
第二节 异常地层压力控制的基本原则	106
第三节 调整井异常高压的控制方法	107
一、注水井关井停注	107
二、注水井放溢	109
三、生产井增加产量	110
第四节 调整井异常低压的控制方法	113
第五节 异常地层压力的综合调整技术	114
第六节 新疆 X 油藏异常地层压力的控制方案	115
第九章 长庆油田加密试验区地层压力预测	116
第一节 加密试验区基本特征分析	116
一、加密试验区地质特征	116
二、加密试验区见水特征	119
三、加密试验区井网部署方式	119
四、加密试验区地层压力预测难点	120
第二节 加密井地层压力预测基础数据	120
第三节 加密井地层压力预测计算	122
第四节 加密井地层压力影响因素分析	125

一、裂缝影响规律	125
二、邻井工作制度的影响	127
三、地层压力的调整	129
参考文献	130
附录 A 复杂油藏调整井地层压力预测与控制软件	135
A1 软件框图	135
A2 主要模块及其功能	136
附录 B 复杂地层井间地质参数预测方法	137
B1 非均质性地层的分形特征及其描述	137
B1.1 非均质产层的分形特征	137
B1.2 非均质产层的分形特征描述	139
B2 井间参数分布规律预测方法的建立	142
B2.1 分形克里金模型	142
B2.2 水驱油流线流管模型	143
B3 井间裂缝分布规律的预测	144
B3.1 多重分形方法及其应用	144
B3.2 井间裂缝的预测方法	146

第一章 绪 论

油田开发是一个需要不断调整的动态过程，不是一劳永逸的。在开发初期，往往采用较稀的井网开发储量比较集中、产能较好的层位和区块，储量动用不充分，剩余油较多。因此，在油田开发中后期，需要根据实际开采情况，调整井网以维持油田产量，减少可采储量的损失，提高采油速度、注水驱波及系数和最终采收率，改善整个油藏的开发效果。目前，中国大部分油田（特别是陆上油田）都已经进入中后期高含水开发阶段。有关统计资料表明^[1]，2007年年底，全国三大石油公司（中国石油天然气股份有限公司、中国石油化工股份有限公司、中国海洋石油总公司）所属全部新、老油田平均综合含水已达到86%，其中含水超过80%、已进入高含水开发后期的老油田，所占有的可采储量在全国的比重达到73%。常用的注采系统调整、注水结构调整等改善油田开发效果的方法收效甚微，产油量增加的幅度也越来越小，但是地下可采储量仍然很大。显然，在现有井网条件下，难以从根本上改善油田（区块）的开发效果，特别是地质情况复杂的油藏。随着开发时间的推移，对油藏的认识就会越来越深刻，也越来越全面，新问题也会不断涌现，井网调整就显得格外重要。因此，需要通过井网调整来改善油田目前的开发效果，减缓产量递减，降低含水上升率，延长油田的经济开采期，提高原油采收率。

常见的井网调整方法有加密和转注，本书所涉及的是井网加密调整。

由于加密调整井是在油田已投入开发（注水）以后所钻的井，与油田开发之前相比，地层压力分布规律已经发生了巨大的变化。地层压力的常规预测方法，如传统的DC指数法、页岩密度法及声波时差法等，已不再适用。另外，中国已投入开发的油田，大多数自然产能都比较低，很多油井投产之前都需要进行各种增产措施，如酸化、压裂等，所有这些都将导致地层孔隙度、渗透率、孔喉直径等特性参数发生不同程度的变化。油田投入注水开发后，一口注水井同时要对许多油层注水，对注入水波及区域上的地层压力产生不同程度的影响；一口采油井同时要动用许多油层的油，在同一油层的不同区域上也会产生不同的压力降。由于沉积条件的不同，各油层（或同一油层的不同区域）的厚度、砂粒直径、胶结强度、平面分布形态及范围、渗透率、吸水能力、出油程度又各不相同，加之绝大多数多油田地层都具有很强的非均质特征，天然裂缝、钻井诱导裂缝以及压裂增产措施产生的裂缝在地层中大量存在且分布毫无规律。渗透率高的区域，注入水推进速度快，可能形成高压区；注少采多的区域，压力较低，可能形成欠压区域；注采平

衡或注采未波及的区域,保持原始地层压力。因此,地层中没有统一的压力系统,和原始地层压力分布规律相比,地层压力系统已经发生了很大的变化,由原来静态的、相对单一的压力系统变成动态的多压力系统,地下动态变化大、压力系统极度紊乱,有时异常高压和异常低压在地层平面及剖面方向上并存。在这样复杂的地层和压力系统下钻调整井,如果不了解地层压力的这些变化规律,不能准确预测地层压力,并对压力异常情况采取行之有效的措施,就可能会发生漏、喷、塌、卡等井下复杂情况,严重影响调整井钻井施工的顺利进行,给油田开发带来巨大损失。

综上所述,由于复杂地层的压力系统极其紊乱,应用常规方法难以准确预测调整井的地层压力。调整井钻井过程中,高压层出水、低压层漏失、钻井事故和复杂情况极为普遍。为了实现调整井的高效安全钻进,必须深入研究复杂地层条件下的油水流动规律及压力动态变化特征,建立准确预测调整井地层压力及其动态变化规律的方法;并在此基础之上,研究建立相应的异常地层压力定量控制技术措施,达到减少相关钻井事故、提高钻井速度、降低钻井成本的目的。

第一节 国内外研究现状

目前,调整井地层压力预测是对已进入中后期开发的油田进行研究的热点之一,在多年的研究过程中取得了不少成果,但始终没有能够很好地解决这一难题。

国外关于调整井地层压力预测和异常地层压力控制方面的研究很少,在文献检索的过程中,只获得几篇为了合理开发油藏而利用数值模拟方法确定地层压力的文章,国内也有类似的文章公开发表。这些文章都不是专门针对调整井地层压力预测开展研究的,其研究成果没有多大的适用价值。而且,利用数值模拟方法进行地层压力预测,需要输入大量的数据,进行大量的复杂计算,还要求操作人员具有很丰富的经验,因而难以在油田得到推广应用。

下面分别从调整井地层压力预测和调整井异常地层压力控制两个方面进行现状分析。

一、调整井地层压力预测研究现状

人们对调整井地层压力预测的研究大致可以分成三个阶段。

1. 早期阶段(1990年以前)

该段时期内,开始有人注意到调整井钻井过程中出现的问题与没有预测其地层压力有着直接的联系。通过理论研究,人们提出了一些简单的预测方法,包括平均地层压力、三角形等压图等方法。虽然这些方法的预测精度不高,但是简单

方便,至今仍然有不少油田的现场工作者在使用。

中国石油勘探开发科学研究院的童宪章教授^[2]最早提出了一种计算平均地层压力的方法,并对停注后地层压力变化时的计算方法进行了探讨。这篇文章给出的方法针对停注时注采井中点的地层压力计算准确,而对正在开采的、压力处于动态变化中的地层,求出的结果与实际情况有较大的差距,很明显不适用于油田的实际情况。但是,这篇文章所提出的地层压力预测的思路和方法,至今仍有一定的参考价值。

辽河油田的李自运^[3]在《钻高压调整井的工艺技术探讨》一文中提出了“高压调整井”的概念和压降坡度法计算调整井地层压力的方法。

2. 发展阶段(1991~1999年)

调整井地层压力预测方法相关研究的公开报道是在20世纪90年代以后才大量出现的。

这段时间刚好是改革开放之后大量投入开发的油田进入中后期开发的时期,不少中老油田都面临井网加密调整的问题,国内已经有不少相关行业科研人员开展了这方面的研究工作。人们在研究调整井地层压力预测方法时,大多数都考虑了多种相关因素,进行综合预测,提高了计算精度。

辽河油田研究院钻采工艺研究所的周全兴^[4]以注水开采机理为依据,提出了注水、停注、超注和欠注等各种不同情况下地层压力的计算公式。这些公式不但计算繁琐,需要求出大量的未知参数和修正系数,而且不能满足复杂地层条件下的调整井压力预测要求。

中原油田勘探局的张东海^[5]认为,根据邻井(注水井、采油井)资料准确预测地层压力是调整井安全、优质及快速钻进的基础,也是减少因地层压力预测不准致使调整井钻井失败、造成重大经济损失的关键因素之一。在分析国内外预测地层压力各种模式的基础上,他提出了相关的计算方法。该方法虽然具有计算简单,且可以根据注采动态随时加以修正的优点,但是他所用的方法也是基于距离加权的,没有考虑地层的非均质特性。

中原油田钻井工艺研究院的孙书贞等^[6]通过分析调整井地层特征和压力分布规律,结合采油生产的实际情况,提出了一种用周围开发井动态资料预测调整井地层压力的方法。这种方法先计算调整井周围采油井和注水井井底流压或静压,再计算采油井和注水井控制区域内的平均地层压力,最后用趋势面法或反距离平方加权法或压降法预测调整井地层压力。

大庆石油管理局的刘学领等^[7]在《关于如何钻好调整井的探讨》一文中也利用距离加权方法计算了待钻调整井的地层压力。

大连理工大学的张允真等^[8]用反算法识别地质和流体的综合物理参数,在给

定单井产量或注水量条件下,对压力场进行拟合,求得调整井位的地层压力,避免用正算法必须给定地质和流体的各种物理参数,而且宏观地包含了类似井点附近的油层污染、断层等特殊情况对压力场的作用。

中国石油大学(华东)的管志川等^[9]根据测井、井史、试油及地层测试等资料的分析结果,利用声波时差法、DC指数法和页岩电阻率法,对已有井的地层孔隙压力进行综合评价。

为了解决断块油田开发中后期由于地质情况复杂、注采不平衡引起的调整井钻井井涌、漏失问题,中原石油勘探局的刘国宏等^[10]对老区调整井钻井过程中的出水外溢、井漏等复杂问题进行了调查分析,并探讨了油田注水开发中由于各种干扰引起的压力异常,对处理技术措施和效果进行了评价。

可以看出,以上文献给出的计算方法大多数都是建立在均质地层假设条件基础之上的,采取简单(反)距离(平方)加权方法进行预测,其计算结果往往和油田实际情况存在着很大的差距,还不能满足油田实际调整井钻井的需求。

3. 成熟阶段(2000年至今)

该时期出现的地层压力预测方法都是将多种理论综合起来进行分析研究的,能够在一定程度上满足油田调整井地层压力预测的需要。

西南石油大学李顺初等^[11]根据油藏动态分析的实际需要,建立了考虑井筒储集和表皮效应及三种外边界条件——定压外边界、封闭外边界和无穷大边界下的油层压力分布数学模型。该模型利用拉普拉斯变换和贝塞尔函数求解出了相应的拉普拉斯空间中的精确解,并对解的应用做出了较为详尽的阐述,指出了其具体的应用步骤,为实际应用提供了一个新的途径。

哈尔滨工程大学的杨宝君等^[12]根据数理统计分析,应用渗流力学理论,结合大庆探区西部葡西地区实际生产资料,得出各压力系统的地层压力预测经验公式。

从矿场实际出发,中国石油大学(北京)的吴洪彪等^[13]系统地分析了注水开发油田动态监测过程中所取得的压力资料,在油田开发应用中存在的主要问题及井数加权法难以正确反映油藏实际压力水平的原因。他们提出了考虑油水井井数比、流动系数、孔隙体积、综合油水井压力资料评价注采系统压力水平的方法。从油田合理开采的角度出发,他们同时指出,不同的开发阶段应采用不同的地层压力计算方法和地层压力评价方法,在注水开发过程中要考虑地层压力计算方法和地层压力水平评价方法在油田开发全过程中的适用性及可比性。

西南石油大学郭大立等^[14]根据压裂后油气渗流机理,考虑裂缝闭合压力和裂缝导流能力的变化,建立了生产过程中裂缝内压力分布模型,包括地层系统渗流模型、裂缝系统渗流模型、闭合压力方程和导流能力方程等,并以变步长网格、

对地层系统渗流数学模型采用交替方向隐式格式,对裂缝系统渗流数学模型采用预测-校正格式,进行了迭代求解。

基于双孔隙物理模型,中国矿业大学资源开发工程系的黎洪等^[15]建立了裂缝性油藏干扰试井的数学模型。他们利用拉氏变换方法求出该模型在拉氏空间的解;运用 Stehfest 方法进行了数值反演,得到油藏中压力分布的近似解;根据遗传算法自适应全局优化概率搜索的特点,利用自动拟合技术识别出裂缝性油藏的主渗透率及主裂缝方向。

中原油田勘探局钻井工程技术研究院的肖国益等^[16]针对中原油田调整井钻井过程中存在井涌、井漏、井塌、卡钻甚至导致工程报废等复杂情况及事故问题,利用测井资料,通过室内实验、力学分析、油藏模拟、模式建立、软件编程、数据处理与结果预测,建立了沿井眼剖面连续预测地层孔隙、坍塌和破裂三项压力的方法。

中原油田张兰江等^[17]建立了复杂压力系统地层压力预测方法的数学模型,并利用文东油田文 13 块已钻井的测井资料、采油注水井的地质资料,预测了 4 口调整井的孔隙压力、坍塌压力、破裂压力,并据此推荐了实钻时所采用的钻井液密度。

以上地层压力预测方法实际上都是针对已有井建立的,不能很好地用于调整井地层压力的预测。

在分析中原油田文东地区地层特性及钻井中存在的主要难题的基础上,中原油田分公司勘探开发科学研究院栗广科等^[18]提出了从井身结构、钻具组合、钻井液体系、钻头选型及完井技术几个方面较优化的钻井方案。

针对地层压力与套损的关系,大庆油田的刘绍轩等^[19]已作过这方面的研究。他们从新井的测井曲线与地层压差关系入手,并注意到孔隙压力的变化对自然电位的影响,建立了储层孔隙压力计算方法。

从油藏模拟的基本原理出发,大港油田的梁何生等^[20]建立了一套简便、快捷地预测油层压力分布变化的方法,并根据模拟方程,利用 Visual Basic 5.0 语言编制了计算机程序。该方法借鉴油藏数值模拟的原理,又比油藏数值模拟简便可行,可在较短时间内对开发井油层孔隙压力进行预测。但是,该预测方法对复杂地层的处理效果欠佳。

与以前的那些方法相比,该段时期内建立的这一系列方法有了更大的进步,在地层相对简单的情况下,有时能够得到比较可靠的预测结果。但是,对非均质性较强或存在复杂裂缝网络的地层,这些调整井地层压力预测方法的研究还不够深入,预测结果也不能完全满足油田调整井钻井的需要。

由于裂缝的存在,各区块开采程度不一,加之注采不平衡,因而地下动态变化大,压力系统紊乱,有的区块或砂层组异常高压,有的则异常低压,个别区块纵向

上高、低压异常交互存在。在这种复杂地层和复杂压力系统下钻调整井，出水、井涌、井漏时有发生，经常是出水外溢引起井涌、井喷，压井后又发生井漏，进而造成井塌、卡钻等事故。目前，国内各个老区调整井钻进中出水、井涌、井漏等问题仍在逐年增多，已成为各油田调整井钻井必须深入研究和亟待解决的问题。

该时期出现的调整井地层压力预测方法的另外一个缺点是，没有考虑调整井地层压力的动态变化过程和压力波在地层中的传播延时特征，这同样使其预测结果不能满足调整井钻井的需要。

从以上调整井地层压力预测方面的文献调研情况来看，目前人们预测调整井地层压力的方法主要有邻井等压图、邻井资料外推，以及将渗流力学、测井解释和油藏数值模拟等相结合的方法。这些方法不是建立在均质地层条件基础之上，就是与操作人员的现场经验或各个油田的实际情况有很大关系，难以在油田实际调整井地层压力预测中得以推广应用。而且，以上所有这些方法都没有考虑正在开采的地层的压力动态特征，所得的预测结果是静态的，没有考虑时间因素，与实际情况存在较大差距。

二、调整井异常地层压力控制研究现状

准确地进行地层压力预测只是调整井地层压力研究的一个方面。预测出地层压力之后，为了达到调整井高效安全钻进的目的，我们必须根据实际情况对压力异常的地层采取相应的技术措施。所有可能采用的措施大致可以分为两种类型：一种是被动型的，如优化井身结构、合理设计钻井液性能以及制定严格的钻井操作规程并切实贯彻执行下去；另一种是主动型的，即主要通过改变异常地层压力调整井附近注采井的工作制度，将异常地层压力控制在“安全”的范围之内。被动型的措施往往会打乱调整井的正常设计和钻井施工，增加钻井成本，而且往往事与愿违，难以取得真正的作用。因此，本书将要重点研究后一种类型的措施。

目前关于调整井异常地层压力控制方面的研究很少，人们对异常地层压力的控制手段非常单一，而且缺少理论依据。在油田实际调整井钻井操作中，往往都是凭借现场工程师的经验确定哪些注水井什么时候开始关井，以降低异常高压地层的压力。例如，新疆 X 油藏调整井开钻之前 15 天将 300m 以内的注水井全部停注。由于没有适用的理论基础，这种粗放型的处理措施通常难以达到有效控制异常地层压力的目的，不能满足调整井安全钻进的需要。

从文献检索的情况来看，目前尚未有人对调整井异常地层压力控制进行过深入的研究，更没有关于调整井异常地层压力定量控制方法的研究。令人欣慰的是，国内有几篇从改善油田开发效果的角度研究合理地层压力保持水平的文献。虽然这些文章所提供的方法都不是针对调整井异常地层压力控制的，难以直接加以利

用,但是也给相关的研究提供了一些值得借鉴的技术思路。

华北石油管理局的罗承建等^[21]认为,中高含水期开发阶段,稳产难度越来越大,稳油控水成为主要任务。地层压力保持水平是实现稳油控水的一个关键因数,为此,罗承建等应用物质平衡方程和水驱特征曲线,研究了合理注采比,地层压力保持水平及产液量和含水率之间的定量关系。

大庆石油管理局的陶嘉胜等^[22]应用动静态资料及测井曲线,综合分析了喇、萨、杏油田钻调整井时,预测漏失区及判断漏失点或的方法,并总结了对漏失区及易漏井的防治方法。

孤东油田经过多年的高速开发、强注强采,地下矛盾十分突出。为探索特高含水期改善油田开发效果的途径,在深化油藏开发特点认识的基础上,胜利石油管理局的周伟东等^[23]应用精细油藏描述技术、数值模拟技术,以及开发测井和油藏工程方法,进行了剩余油分布规律研究、合理地层压力水平研究、扩大水驱波及体积途径分析、注采结构状况分析研究等。在降压强排试验的基础上,周伟东等调整注采结构,使油田地层压力得到控制。

针对目前油田注采分析存在的困难,大庆石油管理局生产测井研究所的黄泽艳等^[24]提出了用动态测井资料确定油水井注采关系的方法。利用注产剖面测井资料得出分层注水量和分层产液量,以此为基础结合井口生产数据,生成一定时间的产液、吸水量数据序列;根据灰色关联分析法确定油、水井连通性、注水受效时间;根据多元回归分析法确定注水井对周围油井不同层的水量分配。

在介绍地层出水对调整井钻井危害的基础上,中原石油勘探局钻井四公司的杨学德等^[25]详细分析了可诱发地层出水的具体原因,并针对不同的出水原因,指出应分别采取注水井关井停注泄压、边溢边钻、压井、套管封隔等经验措施。

为了更精确地分析油水井在地下的注采关系,应该确立注水井合理地层压力,确立注水井各层水量劈分系数,以及确定生产井产液量来源于各注水井的方向比例系数。通过研究,大庆油田有限责任公司第一采油厂的上官永亮等^[26]提出了合理配注预测的方法,并建立了合理配注优化数学模型,最大限度地解决了高含水中后期的层间矛盾和平面矛盾。

大庆油田有限责任公司的孙立华等^[27]根据油藏的静态参数、油水井的开发动态以及各种测井资料,总结出油藏异常高压层的分析方法,同时应用不同的分析方法对杏南开发区异常高压层的形成原因及分布规律进行了研究,最后指出,地层压力升高主要是由于区域性的注大于采造成的。合理调整注采比是保持地层压力稳定的前提,异常高压层的分析要以历史追溯为基础、以物质平衡原理和达西定律为准绳确定高压层,用经验认定和反证法来验证分析结果。

综上所述,目前所得到的文献中,仅有很少几篇文章从稳油控水、改善油田开发效果的角度出发,进行了合理地层压力保持水平的研究,尚无专门针对调整

井异常地层压力控制的研究,国内外这方面的研究和可以应用于油田实际调整井异常压力控制的成果几乎还是一片空白。

第二节 本书的主要内容

一、主要内容

本书通过对复杂地层压力分布规律进行深入的研究,形成一套比较准确可靠的复杂地层调整井压力预测和异常地层压力定量控制的理论和方法,对调整井钻井过程中的地层压力预测与控制进行有效的指导,从而降低复杂地层调整井钻井事故率,达到提高综合钻井效率,实现调整井安全钻进的目的。具体内容如下所述:

- (1) 非均质地层调整井压力预测的理论和方法;
- (2) 裂缝地层调整井压力预测的理论和方法;
- (3) 复杂地层压力动态特征及其影响因素;
- (4) 导致调整井地层压力异常的原因;
- (5) 调整井异常地层压力定量控制的理论和方法;
- (6) 复杂地层调整井压力预测与压力控制软件。

二、内容之间的逻辑关系

根据本书的主要内容,考虑各部分内容之间的相互关系,可确定如下复杂地层调整井压力预测与异常地层压力控制技术研究内容之间的逻辑关系(图 1-1)。

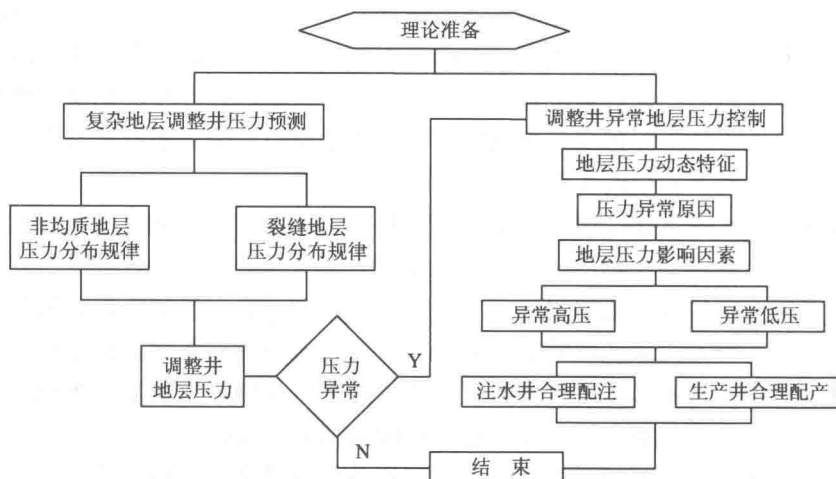


图 1-1 本书内容之间的逻辑关系