

天 然 气 工 程 丛 书

气藏工程 分析方法

黄炳光 冉新权 李晓平 等编著

石油工业出版社

天然气工程丛书

气藏工程分析方法

黄炳光 冉新权 李晓平 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

《天然气工程丛书》共分8个分册,《气藏工程分析方法》是其中之一。

本书简要介绍了气藏工程分析的特点,详细阐述了气藏流体和岩石的基本特性、气体稳定和不稳定渗流的基本理论,气井稳定试井方法、气井不稳定试井方法及气藏物质平衡原理和应用,最后介绍了气藏数值模拟应用技术。

本书可供从事天然气勘探、开发的技术人员和管理人员参考,也可供相关院校的师生及研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

气藏工程分析方法/黄炳光等编著.

北京:石油工业出版社,2004.12

(天然气工程丛书)

ISBN 7-5021-4924-4

I. 气…

II. 黄…

III. 气藏-分析方法

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第130978号

气藏工程分析方法

黄炳光 冉新权 李晓平等编著

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.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

889×1194毫米 开本:1/16 印张:16.75

字数:500千字 印数:1~5000册

定价:80.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《天然气工程丛书》

编 委 会

主 任 黄 炎

副主任 王乃举 刘宝和 胡文瑞 夏鸿辉 魏宜清

茹 克 王志刚

成 员(以姓氏笔画为序)

马新华 王全生 王道富 冉新权 孙龙德 许可方

张卫国 李安琪 李海平 李鹭光 杜志敏 宋顺琼

沈 琛 孟慕尧 金忠臣 胡朝元 黄立功 阎存章

编辑组成员

组 长 孟慕尧

组 员 冉新权 张卫国 咸玥璞

《天然气工程丛书·气藏工程分析方法》

编 写 组

主 编 黄炳光

副主编 冉新权 李晓平 张烈辉

成 员 刘蜀知 唐 海 刘启国 罗 涛 张崇军

余 刚 余 进 谭中国 王怒涛 李汝勇

朱忠谦

序一

近年来，我国天然气工业取得了很大的发展，已逐步进入了工农业生产和日常生活的方方面面，成为国民经济生活中的重要内容。经过几代人的努力，我国目前已经初步形成了四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋在内的五大气区基本格局，建设了以“西气东输”为代表的一批陆地及海上输气干线。“西气东输”宏大建设工程的实施，不仅是落实“西部大开发”战略的重要举措，而且也是我国在天然气生产建设能力和技术等方面的综合体现，标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

经过几十年的生产实践，我国在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面，已经积累了丰富的经验，技术达到了较高的水平。认真总结这方面的经验和技術，展示我国天然气工业的成就和进步，指导和促进技术水平的提高，是一件十分有意义的工作，本套丛书的编写实现了这一愿望。

《天然气工程丛书》是一套按系统工程要求编写的丛书，它全面系统地总结了我国历年来在天然气方面的实践经验和成果，借鉴了国外有关天然气方面的先进理论和技术。编著者大多来自多年从事现场和科学研究有经验的专家、学者，在编写方法上强调了科学、实用及可操作性的特点，并有相当部分实例可供借鉴，使丛书成为一部信息量大、内容充实、涉及面广、有一定理论深度的技术专著。

《天然气工程丛书》的出版，对我国天然气的勘探、开发和综合利用具有很大的技术指导和推动作用，在此我表示衷心地祝贺。藉该书出版之际，我祝愿广大的科技工作者不断创新，不断进步，为促进我国工业技术水平的提高和发展做出更大的贡献。

中国科学院院士
中国工程院院士

侯祥麟

序二

在我担任中油股份公司总裁期间，油气田开发方面的几位老同志，建议编写出版一套“天然气工程丛书”，以适应我国天然气迅猛发展的需要，我非常赞同和支持这件事。

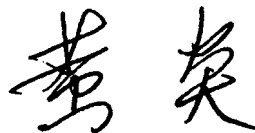
三年来，在中石油、中石化、中海油、石油院校等部门的数十名专家和上百名工程技术人员的辛勤努力下，克服了专业门类多、地域跨度大、编著人员不稳定等诸多困难，完成了丛书的编写出版任务。

本“丛书”的内容涵盖了全国各主要产气区，按照上下游一体化的总体思路，从资源勘探到综合利用，编辑为8个分册，约500万字。它凝结着我国从事天然气工作的几代人的辛劳和智慧，并把丰富的实践经验与近代科技进步相结合，是目前国内较为全面系统又有一定理论概括的系列丛书。

进入新世纪以来，我国天然气发展形势很好。预期在不久的将来，天然气在国民经济和社会生活中的地位和影响将越来越大，从事天然气工业的各个领域的工程和管理人员也将越来越多，他们迫切需要站在一个更高的起点上，了解和掌握比较系统的天然气技术；石油院校师生，也需要有更新的教材。我认为丛书的出版，一定能够给予他们以有力的帮助，并为促进天然气勘探、开发、采气工程、气田建设、管道输送、天然气综合利用等技术的发展与创新做出贡献。

在“丛书”出版的时候，特向参与编著和出版的各位专家、教授、工程师及全体工作人员致以衷心的感谢！

丛书编委会主任
中国石油学会理事长



编 著 说 明

我国是世界上发现和利用天然气历史最悠久的国家之一。新中国成立以来,经过半个多世纪的努力,在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面,积累了丰富的实践经验,有了一套适合于我国天然气工业发展特点的技术和理论。特别是“九五”、“十五”期间,天然气得到了迅猛发展,目前已初步形成四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋五大气区格局的天然气现代工业体系,“西气东输”——国家西部大开发战略序幕性工程的实施,标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

我国天然气的勘探和开发,有其自身的特点。气田的地质条件复杂,开采的技术难度较大,绝大多数气田的储层为低渗透、低孔隙,具有边、底水,非均质性严重;气田规模多为中小型且地域分散;有些主力气田含硫,这就使气藏工程、采气工程、地面工程及综合加工利用等,面临一系列技术难题。正是在这种复杂和困难的条件下,我国的科技人员,经历了多年的探索和实践,研究和利用新技术、新方法和新装置,加深了对我国天然气工业勘探、开发和加工基本规律的认识,发展了天然气上、下游工程,使我国天然气工业得到了迅速的发展。这些成就饱含着从事天然气工作的广大工程技术人员、生产经营管理者的辛劳和智慧。

国民经济的快速增长和天然气工业的大发展,要求我们必须系统总结我国天然气工业丰富的实践经验,同时借鉴国外天然气工业先进的理念与技术,编辑出版一套既有理论指导又有现实可操作性的科技论著,给这一方兴未艾的大好形势以有力的技术指导。

1999年,经中国石油天然气集团公司原开发生产局局长王乃举、总工程师孟慕尧和石油工业出版社张卫国等同志提议,成立“天然气工程丛书”编写筹备组,同时将这一想法向当时担任中国石油天然气股份有限公司总裁的黄炎作了汇报,得到了黄炎同志的大力支持,组建了“丛书”编委会。经与多方协商,由黄炎担任编委会主任,王乃举、刘宝和、胡文瑞、夏鸿辉、魏宜清、茹克、王志刚任编委会副主任;编委有:马新华、王全生、王道富、冉新权、孙龙德、许可方、张卫国、李安琪、李海平、李鹭光、杜志敏、宋顺琼、沈琛、孟慕尧、金忠臣、胡朝元、黄立功、阎存章。

编委会的具体组织领导工作由王乃举、孟慕尧同志负责。为了加强经常性的工作指导,还成立了编辑工作组,组长为孟慕尧,成员有冉新权、张卫国、咸玥瑛。

在“丛书”编写期间,编委会先后组织了多次研讨会,邀请各油气田、石油院校、研究院所的领导、专家、工程技术人员参加,确定了“丛书”的框架结构和编写提纲。每一分册都组建了各自的主编及编辑小组,聘请了一大批著名专家撰稿,他们都做了大量艰苦细致的文献查阅、专题研究及亲临现场调研工作。中国石油天然气集团公司、中

国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、西南石油学院、石油大学等单位，在编写资料、编写人员等方面积极给予协调帮助；中国石油天然气股份有限公司、西南油气田分公司、长庆油田分公司在经费上给予了支持，保证了“丛书”编写工作的正常运行。石油工业出版社在稿件审查、编辑加工和组织出版方面高度重视，将该套“丛书”列入了石油工业出版社“十五”重点丛书，并上报国家新闻出版总署，将此“丛书”作为精品图书出版。

本套“丛书”是系列性科技专著，共分8个分册，约500万字，分别为《天然气资源勘探》、《气藏地质》、《气田与凝析气田开发》、《气藏工程分析方法》、《采气工程》、《天然气矿场集输与处理》、《天然气输送与储存工程》、《天然气综合利用》。“丛书”既有理论概念，但更多地偏重于适用的工程技术方法的阐述。它是天然气勘探、开发、集输、储运、综合利用系统有代表性的专家和技术人员的集体创作，主要面对从事天然气工业的中高级科技人员和经营管理者，也可作为大专院校及企业在职教育培训的参考教材。

在本“丛书”出版的时候，编委会对所有参加本“丛书”的编写、研讨、出版和曾经给予大力支持的各界人士，谨致衷心的感谢！

前 言

天然气作为一种对于环境污染相对小的能源,越来越受到全世界的青睐,从环境保护和优化能源结构的角度来看,21世纪将是天然气的世纪。我国实行油气并举的石油天然气开发战略,必将有利于加速天然气工业的发展,加快天然气的勘探和开发有助于适应我国国民经济对天然气日益增长的需要。为适应我国天然气工业的快速发展,做好技术和人才的准备,原中国石油天然气股份有限公司黄炎总裁亲自主持编写了《天然气工程丛书》,《气藏工程分析方法》是其中的一个分册。

本书共分七章。第一章绪论,阐述了气藏工程分析的特点,以及气藏工程分析在气田开发中的地位 and 作用。第二章气藏流体和岩石的基本特性,阐述了气藏天然气物性参数、地层水物性参数、岩石物性参数的计算。第三章气体渗流基础,建立了气体渗流微分方程,阐述了稳定及不稳定渗流的基本理论。第四章气井稳定试井,阐述了气井稳定试井分析方法,不同完井方式下气井的产能方程,特殊气井稳定试井分析方法。第五章气井不稳定试井,阐述了常规气井、凝析气井及水驱气藏气井不稳定试井分析的基本原理。第六章气藏物质平衡方法,阐述了气藏物质平衡原理及其应用,定容封闭气藏的储量计算与动态预测,天然水侵量的计算方法,异常高压气藏的物质平衡方程及其应用,凝析气藏物质平衡方程及其应用。第七章气藏数值模拟应用技术,阐述了气藏数值模拟基本原理,气藏模拟的实际应用,复杂地质条件下特殊开发方式模拟方法。

《气藏工程分析方法》具体编写人员为:

第一章 冉新权

第二章 黄炳光 刘蜀知 唐海 冉新权

第三章 李晓平 冉新权 黄炳光

第四章 李晓平 余刚 余进

第五章 李晓平 冉新权 刘启国

第六章 黄炳光 刘蜀知 唐海 张崇军 冉新权

第七章 张烈辉 罗涛

编写人员单位:

冉新权: 中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司

黄炳光 刘蜀知 唐海 王怒涛: 西南石油学院石油工程学院

李晓平 张烈辉 刘启国: 西南石油学院“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室

室

张崇军: 中国石油华北油田分公司第二采油厂

谭中国：中国石油长庆油田分公司第三采气厂

余 刚：中国石油西南油气田分公司重庆气矿

余 进：中国石油西南油气田分公司川西北气矿

罗 涛：中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院

李汝勇 朱忠谦：中国石油塔里木油田分公司天然气开发事业部

在编写过程中，王乃举、孟慕尧、李士伦、王鸣华、赵必荣、陈元千、李璠等同志对本书提出了许多宝贵意见和建议，在此深表感谢。深深感谢石油工业出版社有关同志为本书出版付出的辛勤劳动。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和不足之处，恳请读者批评指正。

本书编写组

2004 年 12 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 气藏工程分析的特点	(1)
第二节 气藏工程分析在气田开发中的地位和作用	(3)
第二章 气藏流体和岩石的基本特性	(6)
第一节 气藏天然气物性参数计算	(6)
第二节 地层水的物性参数计算	(17)
第三节 岩石的物性参数计算	(19)
参考文献	(28)
第三章 气体渗流基础	(30)
第一节 气体渗流微分方程	(30)
第二节 稳定渗流	(37)
第三节 不稳定渗流	(47)
参考文献	(68)
第四章 气井稳定试井	(70)
第一节 气井稳定试井分析方法	(70)
第二节 不同完井方式下气井的产能方程	(84)
第三节 特殊气井稳定试井分析	(88)
参考文献	(93)
第五章 气井不稳定试井	(95)
第一节 常规气井不稳定试井分析方法	(95)
第二节 凝析气井不稳定试井分析方法	(129)
第三节 水驱气藏气井不稳定试井分析方法	(134)
参考文献	(141)
第六章 气藏物质平衡方法	(143)
第一节 气藏物质平衡通式的建立与简化	(143)
第二节 定容封闭气藏的储量计算与动态预测	(146)
第三节 天然水侵量的计算方法	(150)
第四节 水驱气藏	(160)
第五节 异常高压气藏	(167)
第六节 凝析气藏物质平衡方程	(171)
参考文献	(176)
第七章 气藏数值模拟应用技术	(177)
第一节 气藏数值模拟基本原理	(177)
第二节 气藏模拟的应用	(181)
第三节 复杂地质条件下特殊开发方式模拟方法	(221)
参考文献	(251)

第一章 绪 论

气藏工程分析贯穿于气藏开发的始终,从气藏钻完第一口发现井,到气藏达到最终废弃压力而放弃,整个气藏寿命期内,气藏工程分析工作一直不间断地进行。其目标就是采取各种经济、科学、实用的技术经济分析手段,认识气藏特征、合理开发气藏、预测开发动态、调整开发措施,使气藏的开发达到综合效益最大化。

第一节 气藏工程分析的特点

气藏工程分析的特点是从工程角度对气藏储层、流体实验数据、生产数据、监测数据进行分析,既避免大量繁琐复杂的理论计算,又能够满足气藏开发动态分析所应有的精度要求。气藏工程分析是从矿场实用角度提供认识、分析、研究、预测气藏特征和流体运动规律的方法,指导气藏的开发,分析预测气田开发中出现的动态变化,提出气田开发调整的措施及意见,提高气田开发的技术经济等各项指标。因此,它具有实用的特点。

气藏工程分析是方法性应用科学,这就决定了它具有尊重实践的特点,其分析研究的对象来源于实验室、矿场实际测试、生产等第一手资料。

气藏工程分析方法的主要理论依据是油层物理学、流体渗流理论和统计学原理等,其分析方法要综合运用各种实验、理论计算、数据处理等手段,因此,具有极强的综合性特点。

由于分析计算数据量庞大,手工计算已远不能适应现代气藏工程分析的要求,计算机及相应的计算软件是气藏分析方法必不可少的工具。所以,气藏工程分析方法具有计算机辅助计算的特点。

一、气藏工程的主要研究内容

气藏工程的主要研究内容是气藏的特征参数,为气藏开发设计提供设计基础,为气藏开发管理提供依据。

- (1) 流体性质研究,即研究气藏中天然气的组成、天然气的相态特性、天然气的粘度等。
- (2) 地层测试分析研究。通过地层测试分析可以获得气藏的渗透率、压力、产能、流体性质等资料。如果测试时间长,还可以探测气藏的边界,为气井的评价及气田的开发提供可靠的科学依据。
- (3) 试井解释。气井试井的首要目的是确定在不同的地层压力和井底压力条件下,气井的产气能力,为气田动态分析和制定开发方案提供依据。另一目的是确定表皮系数和储层参数,为实施增产措施提供依据。
- (4) 储量研究。气藏储量的计算确定是确定气藏规模的重要参数,其计算方法常用的主要是容积法和物质平衡方法。

容积法计算气藏储量,主要用于气藏评价和早期开发阶段,用这种方法,通过估算气藏中被烃类所占据的岩石孔隙体积确定原始天然气储量。利用容积法计算天然气原始储量可归纳为依次计算天然

气储层体积,乘以孔隙度得到储层孔隙体积,再乘以含气饱和度得到储层中烃孔隙体积,再除以天然气体积系数即得到天然气原始地质储量。

在计算上述各量中,要注意方法和技巧。如在计算储层总体积时,按照构造图上气藏的实际边界及气水接触位置确定计算范围。对于底水气藏,储层总体积完全由储层顶部构造图和气水接触面的位置确定;对于其他情况,还需要知道储层底部构造图才能确定储层的总体积。确定孔隙体积时,对于纵向或横向上的孔隙度变化不大的气层,可采用简单的平均值法求得:先求出单井储层的纵向平均孔隙度,然后,求取各井孔隙度的算术平均值,即为气藏平均孔隙度。如果气层孔隙度在纵向或横向或纵横两个方向变化很大,则孔隙度应由等孔隙度—厚度图求得,利用类似于用构造图求储层总体积的方法求取孔隙度体积。气体体积系数取决于气藏的压力和温度及天然气的偏差系数 Z 值。通常情况下,压力和温度的变化所引起的地层体积系数变化很小。为减小误差,通常计算的是气藏中部深度下的体积系数。

物质平衡法计算气藏储量主要依据气藏的动态参数,需要一定的开采资料,所计算的储量也可以称为动用原始地质储量。一般认为,物质平衡法在采出储量的 10% 时的计算结果是比较可靠的。

当边底水不活跃,属弹性气驱的气藏,可视为纯体积衰竭,即衰竭过程中烃孔隙体积保持不变。因此, p/Z 和累积产气量 G_p 之间可表示成线性关系方程,在 G_p 轴上的截距等于干气原始储量。

对异常高压情况,应用物质平衡方法求取储量,必须进行必要的修正。在异常高压气藏的 $p/Z-G_p$ 图上,初期和晚期常常显示不同的斜率。初期较小的斜率值反映了高压下评价的气体、岩石、水压缩系数的总体影响。在中低储层压力下得到的较陡斜率反映了生产后期已大幅增加的气体压缩系数项的独特影响。Hammerlindl 认识到异常高压 p/Z 图中直线的弯曲本质,提出了两种方法把早期 p/Z 线斜率调整到其真实值。可应用物质平衡法来计算正常压力和异常高压 p/Z 外推直线斜率的比率,并对气体地层体积系数进行修正。

对于水驱气藏应用物质平衡方法,必须对水侵的影响进行必要的修正,研究表明水侵引起 p/Z 图从斜向上直线趋势向右侧偏移。必须通过对地层压缩系数的修正来获得合理的储量估算。

(5) 气藏驱动类型和最终采收率研究。气藏的驱动类型分为气驱和水驱。了解气藏的驱动类型可以帮助我们预测压力变化、气藏采收率、正确布井位置等。一般可以根据以下几点分析气藏驱动类型:气藏的水文地质特征、水向气藏的推进监测、观察气藏压力变化和气藏动态分析。

常用来确定气藏采收率的方法有 3 种,即测定法、类比法和计算法。

影响采收率的因素是多方面的,如原始储量、气藏压力资料是否准确,气藏枯竭的标准等。驱动类型也是影响因素之一,气驱气藏的采收率普遍高于水驱气藏的采收率。

气藏工程分析方法主要侧重于研究认识气藏的各种技术方法。在气藏的不同开发阶段认识研究气藏的手段不同,气藏工程方法的研究内容也就不同。

(1) 开发准备阶段。指气田发现到探明储量上交获得批准,并编制开发方案的阶段。气藏工程在此阶段的主要研究任务和内容是气藏早期评价。为上交探明储量准备编制开发方案录取各类资料,包括气藏地质资料、流体性质、气藏试气、试采等资料,对气藏进行早期评价,以初步确定气田的储量、规模、气井的产能等,初步计算气田的探明储量。探明储量批准后,准备对气田进行开发,制定气藏开发方案。在此阶段,气藏工程分析的主要目标是制定开发方案,达到在一定的经济、技术、环境条件下,获得气田开发的最佳效益。具体任务是:进行气藏描述,建立气藏三维地质模型,弄清气藏中的流体(天然气、水)在地面及气藏条件下的组分构成、特征参数、化学物理特征,估算气藏的含气面积和储量;进行气井试井设计和解释;评价气井产能,预测开采速度,建立气藏数学模型并进行数值模拟研究;划分开发层系,选择开采方式,设计开发井网,计算、预测、选择合理的采气速度,设计、选择、优化开发方案。

(2) 气田建设阶段。指气藏开发方案获得批准,进行气田产能建设,到气田建设全部完成并达到方案设计要求,进入气田全面生产之前的阶段。由于开发准备阶段对气藏的认识仍存在较多的不确定

性,为进一步加深认识和回避风险,加之考虑下游用户需求量的限制,对气田总体开发方案的建设实施,一般采用整体部署,分步实施的策略。因此,在此阶段气藏工程分析工作具有承上启下的作用,在气井相继投产初期所表现出的动态特征对气藏的认识具有验证、加深的作用,此阶段要及时跟踪各气井的动态特征,及时提出调整意见,优化开发方案的部署和调整。在气田开发建设过程中,气藏工程的研究内容是及时跟踪气藏开发过程,保证气藏开发方案的实施,进一步加深对气藏的认识,并根据相应的变化作出开发方案分步实施的相应调整方案。

(3) 气田生产阶段。从气田产能建设全部完成,气田全面投产,到气田商业生产期结束。气田全面投产后,气藏工程分析的主要工作内容是管理好气田,分析掌握气井、气田的开发生产动态,监测并分析气藏动态变化,预测其开发效果,并提出气田开发调整的相应措施,使气田开发所采取的开采策略能够达到延长气田商业生产期的最终目标。

(4) 气田废弃阶段。气田开发进入后期,因不具有经济效益而废弃的阶段。这时需要计算气井的废弃压力、气田开发的经济效益,确定最终的废弃策略。

二、气藏工程的主要研究方法

气藏工程的研究方法同其他科学有着相似之处,都是依据一定的理论,认清研究的对象,研究其内在规律,并充分应用其规律为人类服务。气藏工程所研究的对象是气藏,包括气藏储层地质特征、气藏中流体的特征及气藏中流体在其储层中的流动规律。气藏中主要流体是天然气和水,要研究流体在地下条件、地面条件下的各种特征,更要研究其在地下条件到地面条件下的变化过程及相应特征参数的变化规律。由于天然气的特殊性,不同组分的天然气其特征参数随压力、温度等条件的变化很大,随之引起相对密度、粘度、体积系数等参数的变化,进而影响气田生产动态的变化,影响最终采收率。认识气藏,还要研究气藏储层的物理特征,诸如储层岩石的压缩系数、储层的渗透率、孔隙度、岩石的敏感性等特征,及其随压力温度等的变化,进而描述气藏中流体的渗流环境及变化。研究认识气藏最重要的是研究气藏中流体的渗流规律,为合理开发气藏提供技术指导。

认识气藏特征参数要通过一系列实验室实验、现场测试资料分析、计算机辅助计算等方法进行。认识气藏渗流规律主要通过理论推导、计算机模拟等气藏工程方法、手段来认识、确定在开发生产过程中气藏流体、气藏储层特征等所遵循的规律。如通过利用 PVT 实验,认识分析天然气在高温高压下的特征及其变化过程等;通过试井资料分析,获得气井实际生产时的产能、相应储层的生产特征参数;通过数值模拟计算分析,可以得到不同开发方式、不同开采速度等开发策略,对气藏各项开发技术指标的影响。

认识气藏的目的是开发好气藏,通过一系列气藏工程方法认识气藏后,就要针对气藏的特征、流体渗流规律选择合理的开发方式,预测动态可采储量和各项开发指标,并随着气藏的开发逐步加深对气藏的认识,充分利用其自然规律,调整开发策略,使气藏开发达到最大效益。

第二节 气藏工程分析在气田开发中的地位和作用

在气田开发的过程中,气藏工程分析一直是处于核心地位,所有气田开发工作的方案、策略均出自气藏工程分析的结论。气田开发不同阶段工作的侧重点不同,采取的开发策略、原则也不同,这些都要通过气藏工程方法的分析计算结果来确定。

一、气田不同开发阶段应用不同的气藏工程分析方法

(1) 气田开发准备阶段。在此阶段的主要任务是搞清气田的规模,弄清气田的地质储量、压力系

统、驱动类型,确定气井的产能,分析其生产规模,提出气藏合理的生产方案。应用气藏工程分析方法,来解决这些问题。确定相对准确的气藏储量是此阶段气田评价的主要目的,也是气田开发规模确定的物质基础。此阶段计算天然气储量的方法主要有类比法、容积法。根据资料的情况,计算得出的储量为Ⅱ类或Ⅲ类储量(即探明储量)。计算气田探明储量时,要充分利用现代地球物理勘探、测井、岩心、试井和气藏探边资料,查明与证实气藏类型、构造形态、储层厚度、岩性、物性参数、气层压力、油气水性质与品位、气水界面和含气边界等参数,要进行气藏静、动态综合研究和气藏描述。确定气田的产能是通过气井的产能测试来完成的,气井的产能是通过现场测试并通过气藏工程分析方法计算而获得,通过气井的产能测试和产能分析来确定气井的产能,进而分析确定气田的产能。测试的主要方法有常产量试井、变产量试井、探边测试等气井测试方法,分析方法主要应用常规分析方法和现代试井分析方法。在确定产能试井方法前,要依据对气藏的初步判断(气藏的类型)尽量确定合理的测试和分析方法,以期得到准确的解释结论。

气藏分析方法在塔里木克拉2深层高压块状气藏开发早期评价中得到了很好的应用。

克拉2气田发现后,实行勘探开发一体化评价,录取了大量资料,充分应用气藏分析方法对气田进行早期评价。在对气藏构造和储层特征、流体性质认识的基础上,进行了大量的试井工作来评价、预测气藏的产能、有效渗透性等气藏开发指标。产能评价是气田开发早期评价的关键,对气田的下一步影响很大,为了准确录取产能资料,对KL201、KL203井进行了分层段和长井段的修正等时试井工作,取得了大量产能评价资料。

根据KL201井4个层段的修正等时试井资料得到每个层段的产能方程,然后按垂直管流原理得出其中3个主力层段合采的产能方程:

$$p_R^2 - p_{wf}^2 = 2.638 \times 10^4 q_{sc} + 5.05 \times 10^4 q_{sc}^2 \quad (1-1)$$

进而得出合采时的绝对无阻流量为 $809.8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

根据系统试井及其他试井资料得到无阻流量与地层系数的关系:

$$q_{AOF} = 6.60468(Kh)^{0.62098} \quad (1-2)$$

最后得到全气藏平均产能方程为:

$$p_R^2 - p_{wf}^2 = 3.785195 \times 10^{-2} p_i (Kh)^{-0.62098} q_{sc} + 1.719324 \times 10^{-2} p_i (Kh)^{-1.24196} q_{sc}^2 \quad (1-3)$$

从而得到对整个气藏的产能特点的认识:实测产量高,无阻流量大;全气藏产能分布不均,平面上主力层产能由东向西有所变差,纵向上产能变化大等特点。

应用所得试井资料及分析结果对平均单井产能进行预测,预测在不同打开程度下,平均单井无阻流量在 $(526 \sim 1041) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,取其 $1/5$,则平均单井产能在 $(105 \sim 208) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 之间,生产压差为 3 MPa 。

通过不稳定试井资料分析,大部分曲线表现出无限大气藏特征,且后期没有非流动边界反映,认识到克拉2气藏含气面积内的小断层不起遮挡作用,因而对开发影响不大。探测半径一般比较大,在 870 m 以上,说明克拉2气藏横向连通性好,符合气藏适于稀井网开采的稀井高产的要求。气藏的压力高,压力系数高达 2.0220 ,属异常高压气藏。通过不稳定试井测得的真、视表皮系数都比较大,表明对异常高压气藏的钻井完井过程中伤害比较严重。

通过对克拉2气藏的早期开发评价研究,对克拉2气藏进行了气田开发概念设计,为克拉2气田总体开发编制奠定了坚实的基础,为克拉2气田的科学合理高效开发提供了理论指导。气藏工程分析方法在该气田开发早期评价中得到了重要的应用,取得了良好的应用效果,为开发好该气田打下坚实的基础。

(2) 气田开发阶段。需要对气藏加深认识,不断核实气田的储量、产能规模,保证以正常稳定的产量生产,以确保下游用户的需要,并根据用户的需要及时合理地调整生产。气藏工程分析方法是开发管理的核心工具,涉及到气田开发的方方面面,只有掌握气井、气藏的开采动态和开发动态,研究分析其动态机理,不断加深对气井、气藏的开采特征和开采规律的认识,才能把握气田开发的主动权,

编制出合理的开发调整方案、开采挖潜方案和切合实际的生产规划,实现高效、合理和科学地开发气田的目的。

在此阶段,气田已经全面投入开发,所表现出的动态特征与初期预测和认识必然有所不同。气田开发是一个对气田不断认识不断调整开发策略的过程,如气藏的储量与开发前用容积法计算的储量会有较大的出入。随着气田开发的全面展开,要充分应用气藏开采的动态资料进行动态储量的计算,加深对气藏储量的认识。计算气田储量所使用的气藏工程方法也有所不同。在开发准备阶段计算气田储量主要应用类比法、容积法、单元体积法,而在开发一段时间后,随着气田动态数据的增多,计算储量要使用压降法、产量递减法、物质平衡法等气藏工程方法。例如西南油气田大天池构造带三大主力气藏,特别是五百梯气藏石炭系储集层横向变化大,用容积法计算探明储量时资料少,单井控制面积大,气藏实际储量不易准确计算、偏差大,给方案设计及实施带来很大的困难。为此,开发人员收集气田 20 年的动态资料,应用气藏工程分析方法,计算气藏的动态储量,获得准确的气藏动态储量,为提高气藏的研究水平和管理水平提供了重要的科学依据。

气田开发不同于油田开发的特点之一是气田的产量受下游用户需求量的影响较大。在气田正常开发阶段,需要根据下游用户的需求,及时调整产量,要根据气井动态分析的情况及时作出产量的调整,必须根据气藏工程分析方法计算科学合理产量调整方案。

二、气藏工程方法根据不同开发阶段的工作任务其侧重点不同

气藏数值模拟技术是气藏分析方法中的核心技术之一,在气田开发管理的各个阶段都起着越来越重要的作用。在气田开发准备阶段,气藏数值模拟用于辅助制定气藏的开发方案,此时对气藏的认识很有限,因此对气藏开发方案的也较粗糙的。然而,通过对气藏进行数值模拟,选择开发方式,减少了一些不确定因素的影响。应用气藏数值模拟可以分析这些不确定因素的敏感性,当某些因素对气藏开发效果不敏感时,可以暂时忽略,而对那些对气藏开发十分敏感的因素必须要花大力气去获取,使资料录取等工作抓住重点,录取那些对计算结果最有影响的数据。

在开发初期,因为有不不确定因素的存在,使得模拟研究处于初级阶段。在不断获得新的数据后,模拟会周期性更新。这就意味着从第一次模拟而导出的初始开发计划要有足够的弹性以适应将来随着资料的不断获得而做出的变化。对那些气藏描述及岩石、流体性质已经比较明确的情况,就可以用数值模拟通过经济技术分析来规划井位,确定布井密度等。在气田开发生产一段时间后,气藏的数值模拟模型就要从定性改进到定量。如对于特定的气藏,模拟结果不一定符合实际的生产情况,因为当时还存在着许多未知数。气藏生产一段时间后,可以确定原来编制的开发方案是否合理,要用合理的数值模拟模型来预测气田的生产动态。首先要完善数值模拟模型,使其与实际生产动态相拟合,此气藏数值模拟模型就用来预测和优化未来气藏的开发动态,指导气田的开发合理进行。在气田废弃阶段,数值模拟技术可以通过模拟不同的开发调整和挖潜措施,从而给出最终确定是否废弃气田的建议。

总之,在气田开发的每一阶段,气藏工程分析一直处于核心技术地位,气田的开发策略、调整措施等均需要对气藏进行细致的气藏工程研究。气藏工程方法在气田的不同阶段工作的侧重点不同,在指导气藏开发时要根据不同阶段的开发目标进行合理的选择使用。